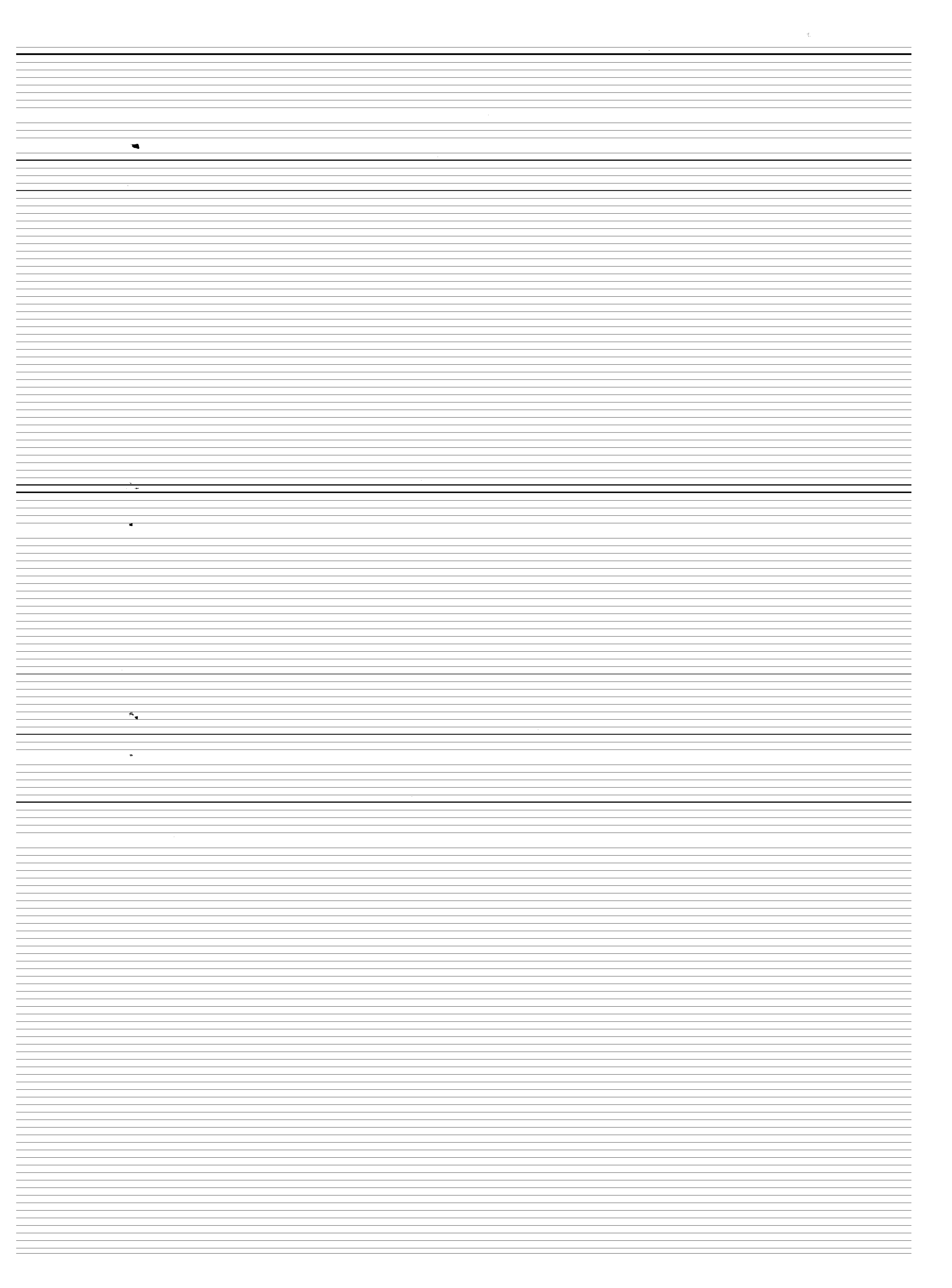
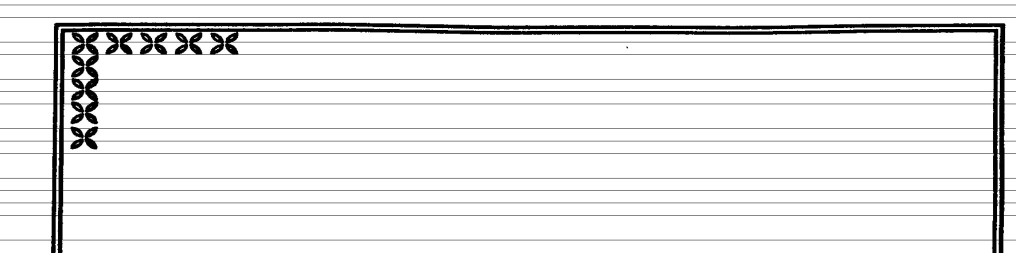
التعبير الرياضى
لبعض الظواهر الحيوية فى النبات

دكتور
عبد المنعم محمد بلبع
B.Sc. Dipl. (Stat.),MSc., Ph.D.
أستاذ علوم الأراضى والمياه
كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية

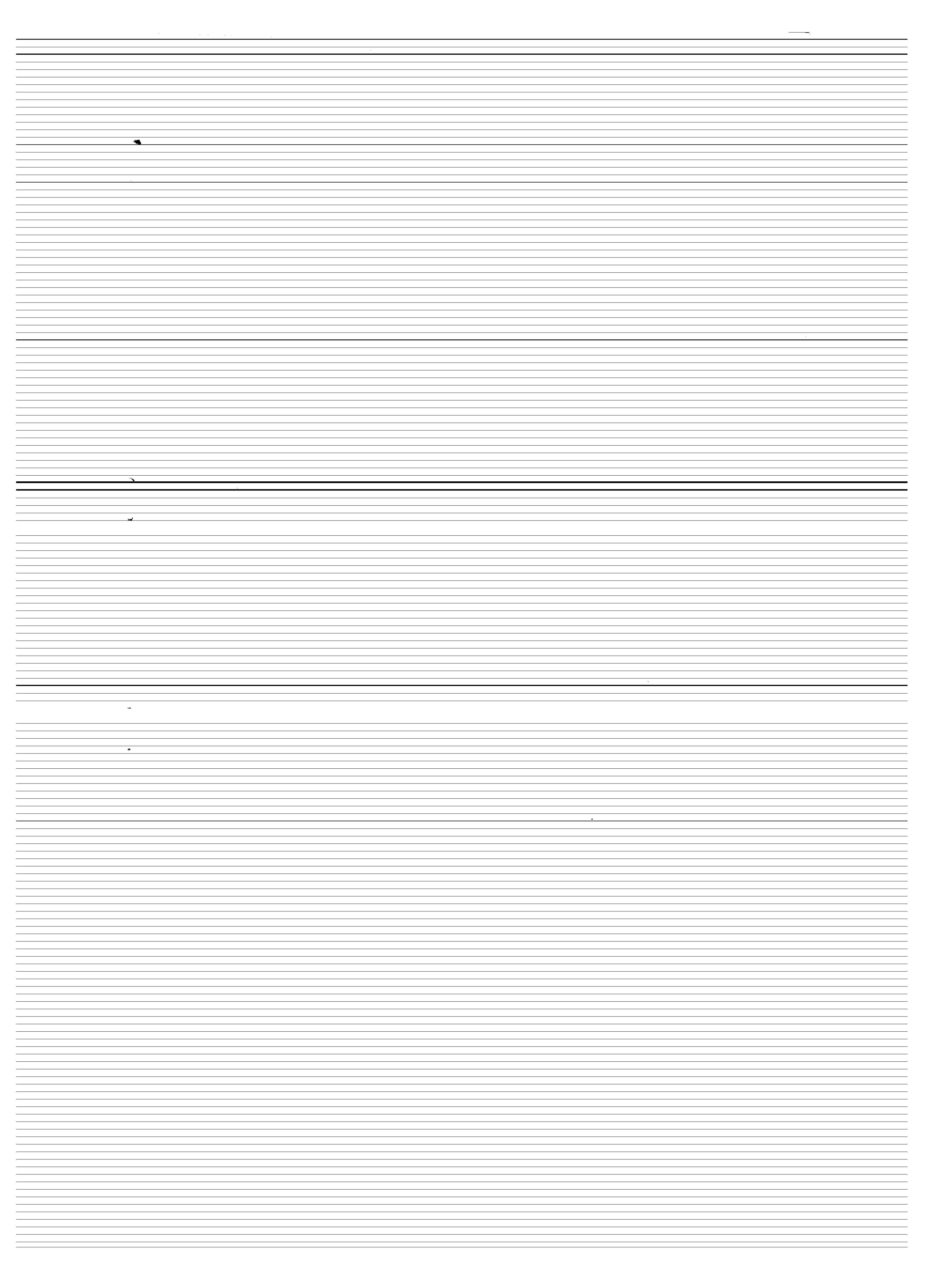
١٤٢٥هـ - ٢٠٠٥م

مكتبة بستان المعرفة
طباعة ونشر وتوزيع الكتب
☎: ٠٤٥/٢٢٢٤٢٢٨ &٠١٢١١٥١٢٣٧






بسم الله الرحمن الرحيم



محتويات الكتاب

الباب الأول

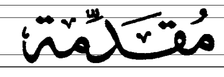
حساب إستهلاك النبات من الماء

صفحـــة

الباب الثاني

صفحـــة

مقدمة



اعتمدت العلوم الطبيعية الفيزياء والكيمياء والميكانيكا وغيرها فى التعبير عما يؤثر عليها وعلى علاقاتها بعضها ببعض على العلاقات الرياضية فحققت تقدما لم تحققه العلوم الحيوية التى اكتفت بالتعبير الوصفى عن هذه العلاقات.

وأخيرا منذ عقود قليلة بدأ المتخصصون فى العلوم الحيوية يتوجهون فى دراساتهم إلى محاولة استخدام العلاقات الرياضية للتعبير عن آثار الظروف المختلفة على الظواهر الحيوية.

وقد بدأ الباحثون فى علوم النبات هذا الاتجاه محاولين التعبير عن بعض الظواهر التى عرفت وصفيا بمعادلات رياضية. مثل العوامل التى تؤثر على استهلاك النبات للماء وتبعهم الباحثون فى مجال تغذية النبات فبعد أن عرف ليبج أن النبات يمتص العناصر المغذية فى صورة أيونية اكتشف أن العنصر الذى يوجد فى بيئة النمو بأقل نسبة من حاجة النبات يعتبر عنصرا محددا للنمو بمعنى أن أى زيادة منه تعطى زيادة فى النمو وأن كل زيادة منه تعطى زيادة فى النمو تساوى الزيادة التى تنتج من كل إضافة ثانية وبذا استنتج أن استجابة النبات لإضافات العنصر المحدد يمكن أن يعبر عنها بمعادلة الخط المستقيم وبعد فترة اتضح لمتشرلك أن استجابة النباتات لإضافات هذا العنصر لا يعبر عنها بمعادلة الخط المستقيم بل بخط منحنى أى أن استجابة النبات تتناقص مثلما يحدث فى قانون العائد المتناقصة المعروف فى الاقتصاد.

ومن هذه التجربة الصغيرة بدأ تطبيق العلاقات الرياضية فى تسميد الحاصلات بالأسمدة المختلفة وما يماثل ذلك فى استجابة الحيوان للتغذية.

وقد اختار الكاتب هذين المجالين ضمن مجالات أخرى (البخر نتح والانتشار والتبادل الأيونى) ليعرض جوانبهما فى هذه الصفحات لأنه قد مارس بعض الدراسات فيها وكان من بين من اقترح استخدامات مختلفة للمعادلات التى طبقت فى تغذية النبات وتطرق منها للتعبير عن آثار وجود أملاح فى بيئة النمو.ويأمل الكاتب أن تشبع الدراسات الكمية لتحل أو تكمل الدراسات الوصفية لإثراء المكتبة العربية.

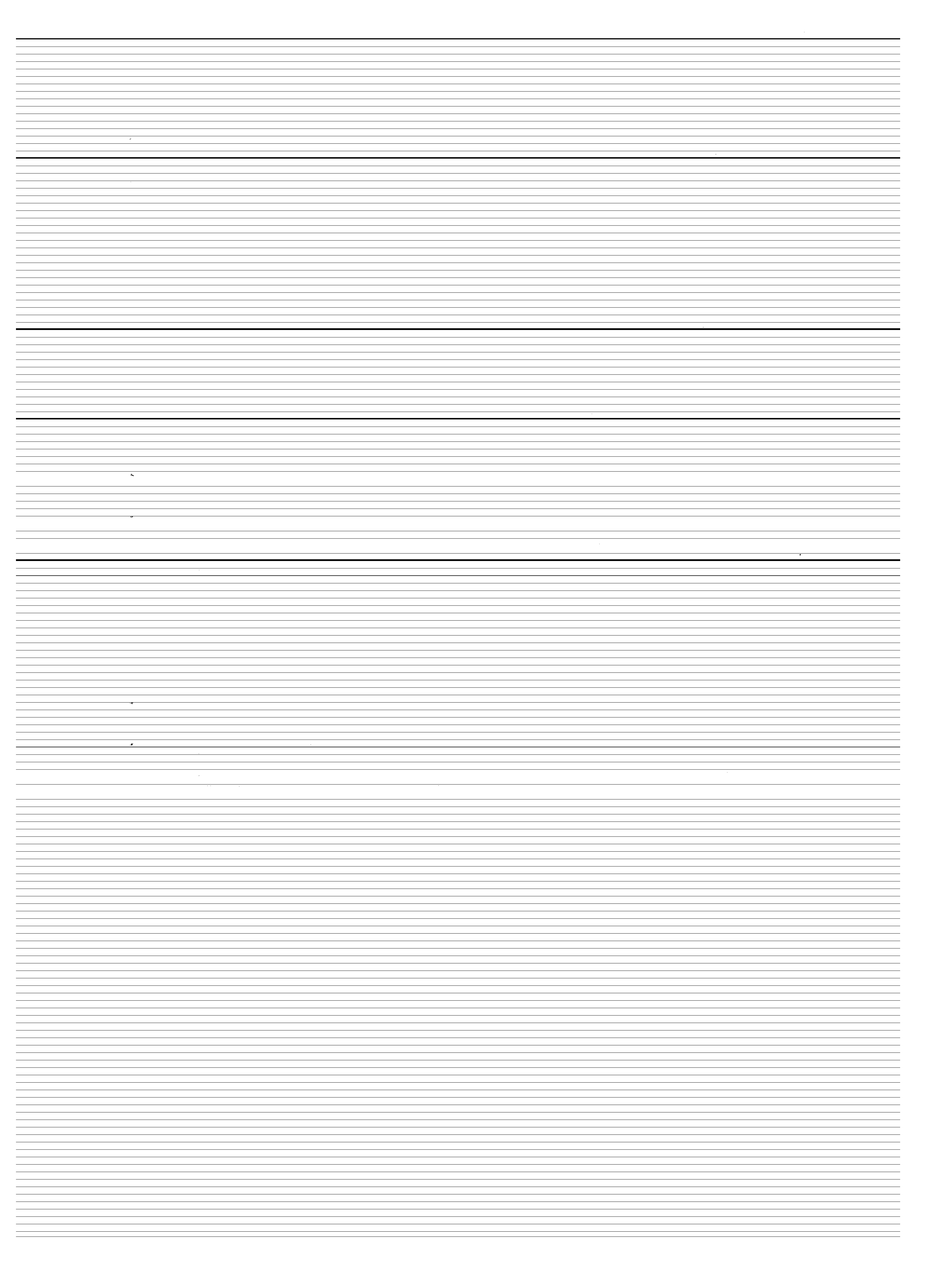
والله ولى التوفيق ،،

فبراير ٢٠٠٥ — أ.د. عبد المنعم محمد بلبع

الباب الأول

حساب إستهلاك النبات من المـاء

- ❖ عوامل النبات المرتبطة بالبخر نتح
- ❖ التبـــادل الأيـــونى
- ❖ الإنتشـــــــــار



تمهـــيد

سبق الباحثون فى مجالات الفيزياء والكيمياء باستخدام العلاقات الرياضية للتعبير عن العمليات التى يدرسونها ، وحقق العلم تقدما كبيرا من هذا الاستخدام للعلاقات الرياضية فهى القانون الذى يحكم خواص المادة مثل قانون تأثير الضغط على حجم الغاز (ح. ص) ولم يمارس الباحثون فى علوم الأحياء الرياضيات فى وصف العلاقة بين العامل المؤثر فالمتأثر فى نظرهم يحس ويفكر وبينما العلاقة الرياضية علاقة تقترب من عدم التأثر أو التفكير ولذا لم يروا أن للرياضة مجالا ذا أهمية فى التعبير عن هذه الظواهر، رغم أنهم كانوا يشعرون بحاجتهم إلى القانون الرياضى ليعبر عما يسجلونه من ظواهر.

بمضى الوقت ومداومة المحاولة وبتقدم العلوم الرياضية ووسائل القياس والحساب بالحواسب الإلكترونية اقترب الباحثون فى علوم الحياة من تحقيق الغرض الذى يصبون إليه. كان من أول هذه الأهــداف التعــبير عن استجابة الحاصلات لإضافات من العناصر المغذية وهى عملية التسميد.

بدأ التفكير فى هذا المجال فى منتصف القرن التاسع عشر إذ كانت دراسات ليبج من أولى المحاولات فى هذا المجال بعد أن عرف الباحثون أن النباتات تمتص العناصر الضرورية فى صورة أيونية فاقترح أن تضاف هذه الأملاح ذائبة فى الماء فيزداد نمو النباتات ومن هنا بدأت صناعة الأسمدة وكان الفوسفور أولها وكان مصدره المتاح بسهولة هى العظام التى كانت تجفف وتطحن ثم تضاف إلى الأرض وأدى التفكير فى مصدر طبيعى للفوسفور غير العظام إلى الاتجاه إلى صخر الفوسفات (الاباتايت) ثم إلى معاملة هذا الصخر بحامض الكبريتيك لتحويل الفوسفات فيه إلى صورة قابلة للذوبان فى الماء وبذا نشأت صناعة السماد الفوسفاتى.

وقد حدد الباحثون العناصر الضرورية وهى التى لا يستطيع النبات أن يتم حياته ما لم يكن كل منها يتواجد فى بيئة النمو.

ومن هنا بدأت محاولة زيادة الإنتاج بإضافة مقادير من العناصر المغذية الضرورية واستنتج ليبج Liebig (أغسطس فون ليبج) أن العنصر الذى يتواجد فى بيئة نمو جذور النبات بأقل قدر نسبى من الحاجة إليه يعتبر محددا لنمو النبات وأنتهى ليبج إلى ما سماه قانون العامل المحدد وينص هذا القانون على أن العنصر المغذى الموجود بالأرض بأقل كمية بالنسبة لحاجة النبات منه يصبح عاملا محددا للنمو فإضافة أى مقدار منه تزيد النمو بنسبة مطردة ثابتة بينما إضافة أى عنصر آخر لا يكون له تأثير حتى يزيد مقدار العنصر المحدد.

بدأ فى هذا الطور التحول إلى التعبير الرياضى عن أثر التسميد على نمو الحاصلات فقانون العامل المحدد ينص على أن التغير فى المحصول (ص) يتناسب تناسبا ثابتا مطردا مع التغير فى عامل النمو (س) أو فى شكل رياضى كما يلى :

$$\frac{\Delta ص}{\Delta س} = \text{ثابت} \quad \text{أو} \quad \frac{د ص}{د س} = م$$

وبالتكامل ينتج أن : ص = م س + ك

وهذه هى معادلة الخط المستقيم.

أى أن المحصول يزيد زيادة ثابتة كلما أضيف إليه مقدار محدد من السماد.

بعد ليبج قام باحث ألمانى آخر هو متشرلش الذى أراد اختبار هذه العلاقة :

" مقدار الزيادة فى نبات الشوفان (Oats) التى تنتج عن زيادة مقادير العنصر الأقل (المحدد) فى بيئة النمو " ووجد أن نتائجه لم تعط خطا مستقيما كما أشار بذلك ليبج بل أعطت خطا منحنيا.

ومن هذه النتيجة أستنتج متشرلش أن زيادة المحصول نتيجة إضافة وحدات متوالية من السماد تتبع قانون الغلة المتناقصة المعروف فى الاقتصاد، أى أن الزيادة فى المحصول من إضافة الوحدة الثانية من السماد تكون أقل من الزيادة التى تنتج عن إضافة الوحدة الأولى وهكذا تقل الزيادة فى الإنتاج من إضافة الوحدة التالية عن الزيادة من إضافة الوحدة السابقة لها ومعنى هذا أن الزيادة تتناقص وأن القانون الذى يعبر عن استجابة النبات لإضافات متتالية من السماد هو قانون الغلة المتناقصة والذى تعبر عنه معادلة لوغاريتمية أو أسية.

ومن هذه المعادلة بين الفرض أن التناسب بين العنصر المضاف (س) والمحصول الناتج (ص) غير ثابت بل يتناقص يحكمه الفرق بين المحصول الأعظم (أ) والمحصول الناتج (ص) ويعبر عن ذلك رياضيا كما يلى :

$$\frac{\Delta \text{ص}}{\Delta \text{س}} = \text{م (أ} - \text{ص)} \quad \text{أو} \quad \frac{\text{د ص}}{\text{د س}} = \text{م (أ} - \text{ص)} \quad (١)$$

$$\therefore \frac{\text{د ص}}{\text{أ} - \text{ص}} = \text{م د س} \quad (٢)$$

وبالتكامل ينتج أن لو (أ – ص) = م س + ك

وكلما زادت س كلما قل المقدار (أ – ص) ولذا فإن م س تأخذ العلامة (–)

∴ لو (أ – ص) = ك فإذا كانت (س) = صفر يكون لو أ = ك وبالتعويض :

لو (أ – ص) = ك – م س. (٣)

فإذا كانت س = صفر يكون المحصول الناتج = صفر وتكون لو أ = ك

ويمكن تحويل الصورة اللوغاريتمية إلى الصورة الأسية.

وبالتعويض عن ك فى المعادلة (٣) ويمكن تحويل الصورة اللوغاريتمية إلى الصورة الأسية.

لو (أ – ص) = لو أ – م س (٤)

∴ لو (أ – ص) / لو أ = – م س / ١٠

∴ ص = أ (١ – ١٠ $^{-\text{م س}}$) (٥)

وهذه هي الصورة الأسية المبسطة لمعادلة متشرلش وقد أثارت هذه المعادلة وبقية أراء متشرلش معارضة الباحثين وخاصة البريطانيين.

حساب إستهلاك النبات

من المـــاء

تعتمد معادلات حساب استهلاك النبات من الماء على قيم لمعامل النبات والمعادلات المستخدمة جميعها تجريبية أو مايسمى Imperical وبالنسبة لاختلاف أنواع النباتات نتجت عدة معادلات كل منها يختلف عن الأخرى ويعتمد أغلب هذه المعادلات على معامل المحصول Crop Coefficient وفى أغلب الدراسات التى أجريت كان معامل المحصول يختلف من معادلة إلى أخرى ويختلف معامل المحصول باختلاف ظـروف النمـو وهو ما يعنى أن معامل المحصول يختلف باختلاف ظروف التجربة.

ومصر فى منطقة جافة وتختلف الأرصاد الجوية فيها اختلافا كبيرا من موقع إلى آخر وقد قسم رايتما وزملاؤه فى عام ١٩٧٥ مصر إلى ٩ مناطق مناخية ولذا فقد عمد رايتما وأبو خالد إلى استنتاج أرصاد مناخية من قيمها على فترة طويلة.

باستخدام هذه الأرصاد المناخية أمكن لرايتما وأبو خالد استنتاج قيم الإشعاع net radiation فى مختلف الأقسام المناخية فى مصر.

والتبادل بين الحرارة المحسوبة ونقل بخار الماء سائد تحت ظروف الجفاف ونصف الجفاف مما يزيد الإشعاع الخالص net radiation على مدى ٢٤ ساعة وقد أوضح ذلك Vink وزملاؤه ١٩٦٠ وأبو خالد ١٩٦٩ – ١٩٧١ فى لبنان وصراف وزملاؤه ١٩٦٣ – ١٩٧١.

ولا توضح أى معادلة للأرصاد المناخية الحقيقة بشكل كاف، وحتى الحسابات المبنية على معلومات فيزيائية صحيحة مثل معادلة Penman imperical لبخر الماء بالحرارة معامل نقص تجريبى لا تعطى القيم الكبيرة للبخر نتح التى تتواجد

في ظروف جافة إلا فى حالة إدخال معامل المحصول بقيمة تزيد عن الواحد الصحيح.

على أية حال فى هذه الحالة يبدو أن معامل المحصول يعتمد على الظروف المناخية وعلى المحصول نفسه وضغط البخار المختلطين كما أوضحها ماك لروى macIlroy تعطى مثلا وصفيا أفضل لاستخدام النبات للماء، إذ أن لها ميزة تتطلب انخفاض درجة حرارة البصلة المبتلة Wet bulb على السطح الذى يتبخر وأيضا دالة الريح يجب تقديرها من بعض الدراسات باستخدام طريقة التتابع iterative وضرورة هذه الطريقة هى أنها خاصة فى حاصلات ذات سطوح شديدة الاختلاف التى تؤدى إلى التأكد من انخفاض البصلة الذى هو أقل مانع لاستخدام هذه الطريقة لأغراض تطبيقية وغير أن الجهد الذى حل محل البخار.

أوضح هاستيد Hasted *et al.* أنه لجميع الإلكتروليتات فهى ١:١ و ٢:١ و ١:٢ و ٣:١ من الأنواع التكافؤية، فإن ثابت ثنائى الفصل الكهربائى الأيونى Dielectric Constant بها يقع على خط مستقيم بزيادة تركيز الالكترولايت.

وأضافوا أن المجال الكهربائى قرب الأيون كثيف بدرجة تكفى لإيجاد تشبع كهربائى فيما حوله من الماء. وكنتيجة لذلك فإن ثابت الفصل الكهربائى الإلكترولايت فى المحلول يقل بزيادة التركيز.

وقد أوضح كل من Riston and Hastcd (1948) أنه بالنسبة للأيونات أحادية التكافؤ فإن الانخفاض المصاحب لثابت الفصل الكهربائى ينتج من الطبقة الأولى من جزيئات الماء.

وفى حالة الكاتيونات عديدة التكافؤ وهى عادة ذات ذرة واحدة لذلك فإن تأثير التركيز يمتد بالتأكيد إلى ما بعد الطبقة السطحية من جزيئات الماء.

والأيونات متعددة التكافؤ ذات الذرات المتعددة الذرات وبالتالى تكون كبيرة ويكون موقعها غير واضح.

❖ العوامل المؤثرة على البخر نتح

بخـــر المـــاء :

التبخر عملية فيزيائية تكون نتيجتها فقد الماء من الأرض أو من سطوح المياه إلى الجو المحيط بها.

وديناميكية بخر الماء بشكل عام مرتبطة بالخواص الفيزيائية لجزيئات الماء وبالتالى فإذا أذيبت أملاح غير عضوية فى الماء تتأثر كثير من خواص الماء مثل نقطة الغليان – ونقطة التجمد وتغيرات الانتروبى ومقدار هذه التغيرات يتوقف على تركيز الأملاح ونوعها الموجود فى المحلول الملحى.

ويرى كل من Kuenen and Panal (1955) أن معدل البخر يتوقف على عدة عوامل هى :

١- درجة حرارة الماء والهواء.
٢- الرطوبة النسبية فى الهواء.
٣- الإمداد بالحرارة اللازمة للبخر.
٤- معدل إحلال الهواء المجاور.
٥- ملحـــية الماء ففى ظروف متساوية يكون بخر ماء البحر أبطأ نحو ١٦% من بخر الماء العذب.

العوامل المؤثرة على خواص الماء :

١- تأثير الأيونات على الخواص الكهربائية للماء :

يوجد بالمحاليل الأيونية حقل كهربائى شديد نتيجة لشحنة الأيونات يؤثر على تأين المذاب والمذيب.

وهذا الحقل الكهربائى فى حالة المسافات القريبة يكون نحو مليون فولت/سم طبقا لقانون كولومب.

كما أنه فى حالة تشبع ثابت الفصل الكهربائى الثنائى dielctric constant الذى يتم بين جزيئات الماء الملامســـة للأيون يكون هذا الثابت كبيرا جــدا ولذا

تكون الكثافة الكهربائية التى تعمل على الطبقة الأولى من جزيئات الماء غالبا أكبر من المعروفة Robinson & Stateis.

٢- تأثير تركيز الالكترولايت على الانفصال المتوسط للأيونات :

أوضح كل من Robinson and Stateis (1959) أنه لكل تركيز "C" ضرورى للألكتروليتات ١:١ يكون متوسط المسافة بين الأيونات نحو ٧,٤ أى أن فى محاليل ٠,٠٠١ و ٠,٠١ و ١٠,٠ محلول جزئى تكون المسافات بين الأيونات ٩٤ و ٠,٢٠ و ٤,٤ انجستروم.

٣- تأثير الأيونات على بناء الماء :

درس كل من Frank and Evans تأثير الأيونات على بناء جزيئات الماء بدراسة تكسر بناء الانتروبى "Δ^{st}" ووجد أنه فى حالة جميع القواعد والهالوجينات أن هذه التكسيرات فى الانتروبى تقارب زيادة واضحة فى عدم الانتظام الذى يكون عاليا بالنسبة للأيونات الكبرى وأضافوا أنه بعد الطبقة الأولى تتوجه جزئيات الماء بحيث تكون جميع ذرات الهيدروجين إلى الخارج وبالتالى فإنها لا تستطيع أن تشارك جميعها فى التنظيم الهرمى العادى للماء normal terahedral .

٤- تأثير الأيونات على ثابت الفصل الثنائى للماء dielectrical constan :

أوضح Hasted وزملاؤه عام ١٩٤٨ أنه بالنسبة لجميع الالكتروليات التى درست (وعددها ١٤ تتضمن ١:١ و ٢:١ و ١:٢ و ٣:١ مكافئات) كان ثابت الفصل الكهربائى يقع على خط مستقيم بزيادة تركيز الإلكتروليت ويرون أن الحقل الكهربائى قرب أى أيون شديد الكثافة لدرجة تسبب تشبعا كهربائيا واضحا فى الماء المحيط .

ونتيجة لذلك فإن ثابت الفصل الكهربائى الثنائى لمحلول إلكتروليتى ينقص بزيادة التركيز.

وأوضح كل من Ritson and Hasted أنه بالنسبة للأيونات أحادية التكافوء كان انخفاض ثابت الفصل الكهربائى يزداد فى الطبقة الأولى من جزيئات للماء.

والكاتيونات متعددة التكافوء تكون صغيرة وغير ثابتة وتأثير هذه الكاتيونات فى حالة التشبع يمتد خارج الطبقة الأولى لجزيئات الماء.

والأنيونات متعددة التكافوء تكون متعددة الذرات وبالتالى كبيرة ويكون بالتالى موقعها غير واضح.

٥- تأثير تركيز المذيب على ضغط البخار ونقطته العليا :

وأوضح كل من Hillar and Harper أن ضغط بخار السائل يزيد عادة بزيادة حرارة السائل. وأشاروا أيضا إلى أنه إذا تضاعف تركيز المذيب يتضاعف أيضا انخفاض ضغط البخار. يعنى أن انخفاض ضغط البخار يتناسب مع تركيز المذيب (قانون راؤلت Raoult law).

ولما كان ضغط بخار المحلول أقل من ضغط بخار المذيب النقى. ينتج أن نقطة غليان المحلول – أو الدرجة التى تكون عندما تكون البخار مساويا للضغط الجوى يكون أعلى من المذيب.

٦- انخفاض نقطـــة التجمـــد :

عرف منذ وقت أن نقطة التجمد بالنسبة للمحلول أى درجة الحرارة التى يكون فيها المحلول فى حالة اتزان مع بلورات المذاب تكون أقل من نقطة تجمد المذاب النقى ويكون انخفاض درجة تجمد المذيب متناسبا مع مقدار المواد المذابة:

$$\Delta = {}^{K-n}/_{w}$$

حيث :

Δ = انخفاض نقطة التجمد عندما يكون n جم جزء من المذاب قد أذيبت فى w جم مذيب.

$K = \frac{RT^2}{L}$ ثابت مرتبط لحرارة الانصهار و "L" الحرارة المطلقة و R ثابت الغازات.

٧- تأدرت الأيونات :

أشار Butler (1962) أن جهد الهدرتة للأيونات هو جهد تفاعل الأيونات مع الماء وقد اتضح من مقارنته بمجموعة من الأملاح ذات أنيون مشترك أن جهد الهدرته hydration energy يتناسب تقريبا مع قطر الأيون الذى يقاس بللوريا أى أن جهد الهدرته للكاتيونات K و Na و Ca و Mg هو ٩٥ و ١١٧ و ٤٢١ و ٤٩٨ كيلو كالورى .

وقدر Kielland أن القطر الفعال للأيونات الآتية بالانجستروم كما يلى :

جدول (١): القطر الفعال لبعض الأيونات

الأيـون	القطر الجاف	القطر الـ Hydrated
K^+	١,٣٣	٣,٠
Na^+	٠,٩٨	٤ – ٤,٥
Ca^{++}	١,٠٦	٦,٠
Mg^{++}	٠,٧٨	٨,٠
Cl^-		٣,٠
$Co^=$		٤,٥
$So_4^=$		٤
Cl^-		
CO		

وأوضح كل من Buehrur and Aldrich (1942) أن القـيم المهـدرته hydrated لهذه الكاتيونات K و Na و Ca و Mg فى محلول أساسى من الكلوريدات كان ٤,٧ ، ٩,٣ ، ١٩,٢ ، ٢٠,٣ على التوالى. وفى محلول أساسى كانت ٥,٧ و ١١,١ و ٢٦,٦ و ٢٢,٦ جزيئات من الماء لكل ١ جم أيونى.

وهذه القيم الهيدراتيه توضح أن ضغط الماء قد يكون نتيجة للتوجه الناتج عن التجاذب الالكتروستاتيكى لجزيئات الماء حول الكاتيون.

وأوضحت قيمهم أن النسبة المئوية للماء المرتبط فى محلول مائى للملح يرتبط بهدرته الكاتيون لكل ملح وتتزايد بزيادة التركيز.

بخر الماء من الأراضى الملحية :

أوضح Russel (1959) أن البخر من الأراضى الملحية يختلف قليلا عنه فى التفاصيل من البخر من أراضى غير ملحية وأضاف أن البخر منها يترك محلولا ملحيا مشبعا وبمضى الوقت يزيد الملح على سطح الأرض والمحلول الأرضى المشبع الذى له ضغط بخارى أقل من المحلول المخفف يأخذ وقتا أطول ليتبخر وبالتالى وقتا أطول حتى يتكون له سطح جاف ويسمح ذلك للمحلول بوقت أطول ليتحرك إلى أعلى إلى السطح.

وأوضحت دراسة قيوم وكمبر Qayyum and Kemper انه عندما يتحرك الماء الملحى إلى أعلى نتيجة الأملاح يتجمع على السطح أو قريبا منه مسببا نقصا فى امداد الماء للسطح الجاف وبالتالى تتكون قشرة جافة سطحية وتعمل هذه القشرة كما فى حركة السائل وبخار الماء مسببة انخفاضا فى معدل البخر.

وأشار Rigloner إلى ٣ حقائق لبخر الماء من أرض عارية :

١- إذا كان مستوى الماء الأرضى قريبا نوعا من السطح. يكون البخر من الأرض "Δ_S" غير محدد بخواص انتقال الماء الأرضى أو $E_s < V_{max}$ حيث V_{max} هو المعدل الأعلى لحركة الماء بالحركة الشعرية ويكون هذا المعدل فى الأرض محكوما بالأرصاد الجوية.

٢- عندما يكون $V_{max} = E_s$ أى يكون معدل حركة الماء خلال سطح الأرض كافيا لخفض معدل البخر E_s ويكون الفرق الوحيد من الحالة الأولى عن توزيع مختلف عن توزيع الرطوبة فى القطاع فوق مستوى الماء الأرضى.

٣- عند تكون $E_s > V_{max}$ أى تكون خاصية حركة الماء فى الأرض هى المحددة للبخر.

البخـــر نتـــح Evapo transpiration

النتح هو استهلاك الماء والبخر - نتح يمكن تعريفه كما يلى :

١- البخر نتح يعنى العملية التى يفقد بها بخار الماء من أوراق النبات ومن سطح الأرض إلى الجو.

٢- البخر هو العملية التى تؤدى إلى فقد الماء من الأرض أو سطوح الماء إلى الجو المحيط من البخر من أرض عارية والنتح بواسطة أوراق النبات قد لاقى دراسات واهتماما من ناحيتين قد تبين خلال العقود الأخيرة.

وبالتالى أجريت دراسات مكثفة لدراسة العوامل التى تؤثر على ميكانيكية عمليتى البخر والنتح .

❖ دراســـة بلبع وســـليمان (1975) Balba and Soliman

أولا - الأرض المســـتخدمة :

٥٠ كجم من الطبقة السطحية لأرض رملية من وادى النطرون طحنت لتمر خلال منخل ١,٥مم. وجزء آخر نخل ليمر خلال ٠,٧٥٠مم لدراسة البخر من أعمدة أرضية وأزيلت كا ك أ٣ من الأرض بإضافة ١٠٠ لتر من يد كل ٥ أساس لكتلة فى حمض زجاجى وتركت طول الليل وكررت هذه العملية مرتين.

وأزيل الحامض وغسلت الأرض بالماء المغطى عدة مرات حتى أعطى الكلورايد اختبارا سلبيا.

وأجرى الغسيل بماء الصنبور بالنسبة للنصف الآخر من الأرض حتى وصل تركيز الكلورايد فى الماء الناتج من الغسيل ٠,٩٥ ملليمكافئ/لتر.

وجففت الأرض الخالية من كا ك أم فى الهواء.

استخدمت أعمدة شفافة من اللوسايت ١١,٢سم طوله ٢,٢سم قطرا وكونت أعمدة من لصق حلقات من اللوسايت ٠,٦ سم ارتفاع وقطرها ٢,٢سم باستخدام شريط سلوفان ليعطى الارتفاع المطلوب ووضع طبق مخرم من الصينى فى قاع العمود وغطى بعضه بالصوف الزجاجى وورق الترشيح كما غطى العمود بالصوف الزجاجى وورق الترشيح. لتجنب فقد الماء من اتصالات الحلقات غمرت الأعمدة فى شمع مصهور ليكون طبقة متناسقة على جسم العمود الزجاجى الخارجى.

وعبئت الأرض باستخدام قمع زجاجى مع أنبوب مطاط فى نهايته وضع فى العمود البلاستيكى ووضع فى كل عمود ٥٩جم من الأرض حتى ارتفاع ٩,٦سم ليعطى كثافة ظاهرية منتظمة ١,٦٤جم/سم^{٣} وكل جزء كان يكفى لملء ٠,٦سم من ارتفاع العامود وأدير العمود بانتظام و tapped بلطف وعندما وضعت نهايات الأعمدة فى الماء وصلت جهة الترطيب إلى السطح بعد ١٠ دقائق مما يدل على انتظام عملية تعبئة الأعمدة.

تجهيــز أعمدة الأراضى :

أحواض بلاستيك ذات غطاء بلاستيك ذات ٥ فتحات فى سطحها تتصف قطعة من اليولثيلين من نفس الشكل والمساحة كغطاء مع ملاحظة أن الفتحات أقل قليلا فى مظهرها عن الغطاء ولصق الغطاء لمنع فقد البخار من الجوانب ووضعت الأعمدة خلال الفتحات إلى قاع الحوض.

وفى قاع الحوض فتح الجانب ليوصل الماء من سيفون له سحاحة بواسطة أنبوبة مطاط طوله ٤٥سم وقطره ١,٦سم جهز لهذا الغرض.

تم تجهيز محاليل الأملاح الآتية بإذابة ١٠٠ ملليمكافئ من كل Na, Cl, KQ, Na_2SO_4, Na_2Co_3, $MgCl_2$, $CaCl_2$.

وجهزت عدة تركيزات من $CaCl_2$ ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ و ١٥٠ و ٢٠٠ ملليمكافئ/لتر.

وضعت أعمدة الأرض المجففة هوائيا فى الماء المقطر لصعود الماء بالخاصة الشعرية حتى وصلت جهة الابتلال إلى السطح وسجل وقت وصولها إلى السطح. ثم غطى سطح الأرض جيدا وتركت الأعمدة فى الماء المغطى لمدة ساعتين حتى يحصل على ترطيب منتظم وتوزيع منتظم خلال عامود الأرض.

وضعت الأعمدة الأرضية المجهزة فى حجرة حرارة ثابتة لها رطوبة نسبية ٨٥% وحرارة ٢٥°م لتمد أعمدة الأرض بالمحاليل ثم توصيل كل ٥ أعمدة بالمحلول من خلال أنبوبة ماربوت مدرجة بالملليمتر ثم رفعت الأغطية من الأعمدة وعرضت للبخر الطبيعى تحت هذه الظروف وتم فك أنبوبة ماربوت ليسمح للماء متدرجة بالملليمتر للبخر الطبيعى تحت هذه الظروف. وتم فك أنبوبة ماربوت ليسمح للماء أن يتدفق إلى الأعمدة وترك هذا النظام لمدد مختلفة ٥ و ١٠ و ١٥ و ٢٠ و ٢٥ لها استمر خلالها الماء بالبخر وتدفقه إلى أعلى VO الذى قيس من سيفون وماريوط وفى نهاية كل مدة يزال واحد من المجموعات ثم قطعت الأعمدة الخمسة إلى ٦ قطاعات حتى عمق ٤,٨ وكل ١,٢سم حتى قاع العمود ٩,٦سم.

وفى دراسة حركة صعود الأيونات أخذت عينات كل مسافة متساوية كل ٠,٦سم وجمعت عينات الأرض لتقدير الرطوبة والتحليل الكيميائى.

العـوامل المؤثرة على النتح

❖ عـوامل النبات

١- مســاحة الورقة :

أشار كلى Kelley أن نزع نصف الأوراق من أغصان بعض الأشجار زاد النتح بالنسبة للأوراق الباقية. غير أن مجموع النتح لكل نبات انخفض. ويحدث هذا لأن ماء أكثر يمكن أن يصل إلى كل ورقة عندما تزيد نسبة الأوراق إلى الجذور.

ويرى Kramer أنه لما كان معظم الماء موجودا فى الأوراق فمن المتوقع أن النباتات ذات الأوراق التى مساحتها كبيرة تفقد ماء أكثر من النباتات ذات أوراق مساحتها صغيرة. وعلى أى حال فالمعدل عادة ليس متناسبا مع مساحة الورقة.

لاحظ Kaml أن نتح الكيوتكل Cuticular كان ١٥% من جملة النتح فى نباتات خشبية لكنه ٤% فقط من نبات Olea lamera الذى يتميز بأوراق زائدة الكيوتين.

وكما أشار Stalfalt (1992) أن الخلايا التى يحدث منها نتح تكون قريبة من الأعضاء الموصلة للماء فى الأوراق الصغيرة وتقل معاناتها من انخفاض الماء عن الأوراق الكبيرة التى تكون بها المسافات بين العروق كبيرة.

وعلى الجانب الآخر تكون الأوراق الكبيرة السميكة ذات سطح نوعى صغير تكون أدفأ من الجو حولها بينما الأوراق الصغيرة الرفيعة ذات درجة حرارة تقترب من حرارة الهواء المحيط.

٢- نسـبة الجذور والأغصان :

نسبة السطوح التى تمتص الماء إلى السطوح التى تنتح ذات أهمية أكثر من الورقة نفسها. وقال كل من Parker and Bilogowski أن النتح لكل وحدة مساحة من الورقة قد زاد بزيادة نسبة سطح الجذور إلى سطوح الأوراق.

٣- أثر سطوح الأوراق على الماء :

اقترح ليفندجستون Livingston وبراوى (١٩١٢) أن النتح المشبع يقلل محتويا لخلايا المحيطة بالمسافات بين الخلايا وبالتالى تقلل معدل النتح.

ويرى Miller Saundes أن التخفيف يسبب نقصا وبالتالى يقلل معدل النتح ، وقد يكون ذلك راجعا لنقص ضغط البخار فى جدران الخلايا وأيضا للنقص الكبير فى محتوى الماء الذى قد يكون خفض نفاذية الغشاء البروتوبلازمى فى الخلايا.

وأشـــار Ketellapa (1963) أن زيادة معـــدل النتح تســـبب نقصا فى غضاضتها turger للأوراق العليا. ودرجة الشدة التى قد تنتج توقف على النتح والامتصاص فهذه التغيرات تسبب زيادة المقاومة للنتح فى طور النمو.

٤- الثغـــور الغارقـــة Sunken stomate :

أشار Anderson mager أن الثغور الغارقة تحت السطح فى الطبقة السطحية قد أثرت على النتح فما دام طول ميل الانتشار أحد العوامل التى تحكم عمقه فإن الانتشار خلال فتحة صغيرة يكون أبطأ إذا كان من الضرورى أن يمر الغاز خلال أنبوبة طويلة قبل الوصول إلى الفتحة مما لو أن الانتشار حدث خلال أنبوبة أقصر.

❖ الظـــروف البيئيـــة

يتأثر النتح بهذه الظروف : أشعة الشمس الرطوبة النسبية – حرارة الهواء – سرعة الريح – الضغط الجوى – ظروف الأرض المؤثرة على يسر الماء.

١- تأثير أشعة الشمس :

أوضح Robbnius *et al.* (1957) أن التأثير الأساسى لأشعة الشمس على النتح ينتج من تأثير الضوء على انفتاح وانغلاق الثغور. فقد أوضحوا أنه فى معظم النباتات أن الثغور تغلق فى غياب الضوء. وبالتالي توقف النتح تماما عن طريق الثغور.

والتأثير النباتى لأشعة الشمس ناتج عن تأثير الحرارة على الورقة ففى ضوء الشمس المباشر تكون درجة حرارة الأوراق بدون استثناء أعلى من حرارة الهواء.

٢- رطـــوبة الجـــو :

من دراسات Roabbins *et al.* (1957 & 1960) أتضح أن النتح كعملية انتشار يمر فيها بخار الماء من منطقة تركيز عـــال (المسافات البينية من الخلايا فى الورقة) إلى منطقة أقل تركيز (الهواء الخارجى) فقد أوضحوا أن الهواء الخارجى يكون تقريبا أو كلية مشبعا ويحدث نتح منخفض أى أن معدل النتح يختلف عكسيا مع رطوبة الثغور.

وأوضح كل من Gates and Hanks (1967) أن معدل النتح من الأوراق تنظمه مقاومة الانتشار فى الثغور السفلية والطبقة المحددة لمسار الانتشار.

ومن دراسات Uleary and Karecht (1971) اتضح أن استهلاك الماء قد انخفض بوضوح فى الرطوبة الأعلى وأن الوزن الجاف الذى نتج لكل وحدة ماء مستهلك كان أكبر معنويا فى نباتات الفول التى نمت فى رطوبة نسبية ٩٥ – ١٠٠% عندما كانت النباتات عمر ٢٠ أو ١-٢ يوما وعند نفس الرطوبة النسبية لم يوجد فرق معنوى فى الوزن الطازج أو الجاف فى أوزان الثمار.

٣- حـــرارة الهـــواء :

من دراســـات Robbins Gates (1957) اتضح أن فى ضـــوء الشمس المباشر كانت حرارة الورقة دائما أعلى من الهواء حولها. وكان الفرق يصل إلى نحو ١٠°م وعندما ترتفع حرارة الورقة يكون ضغط البخار فى المسافات بين الخلايا أعلى من الهواء المحيط بالورقة وبالتالى ينخفض النتح.

وأوضح Bingham (1970) أن تأثير منطقة بـــ Na Cl على المجموع الجذرى للذرة وآثاره على نمو وامتصاص الذرة للماء.

وأوضحوا أن معاملات Na Cl كانت مرتبطة مع انخفاض نمو الجذور وكان استخدام المـــاء لكل نبات متناســـبا مع المجـــموع الجـــذرى الذى درس. والمعاملات Na Cl لم تحدد امتصاص NPK إلى أى درجة هامة.

تأثير الأملاح على البخر نتح Evapotranspiration :

من نتائج Krapivrma اتضح القطن فى أرض ملحية قد ظهر عليه عدم انتظام النتح من الثغـــور ولو أن استهـــلاك النبات للماء أثناء الفترة الخضرية سيطرت عليه مساحة الورقة.

وأوضح Kling أنه إذا كانت الأرض ملحية باستخدام محلول Vant Hoff-Rikhter فإن استهلاك الطماطم للماء فى عملية النتح قد انخفض بوضوح.

أشار (1954) Nyagkova إلى أن قوة الشد لأوراق الدخن millet النامى فى أرض ملحية قد زادت وأن معدل النتح قد انخفض. وفى نفس الوقت كان محتوى الماء المرتبط فى النبات قد زاد. وأوضح Gorev فى العنب النامى فى أرض ملحية أن المحتوى فى الأوراق وأن الضغط الأسموزى للعصارة الخلوية ولزوجة البروتوبلازم زادت. وفى نفس الوقت أدت ملحية الأرض إلى انخفاض معـــدل النتح. وأشـــار Lunim وزملاؤه ١٩٦١ أن ملحـــية الأرض أدت إلى انخفاض طفيف فى البخر. وقد أرجع الفرق فى البخر نتح إلى أنه للفروق فى معدل النتح الذى تأثر بالأملاح.

وقد لاحظا أيضا أن معدل ET ومحصول أوراق الغصون العليا قد انخفض مع زيادة الأملاح وانتهيا إلى أن انخفاض النمو الناتج عن الملحية هو الذى أدى أساسا إلى انخفاض يسر الماء للنبات.

❖ دراســات Strogonov

١- أن معدل النتح من الأراضى التى ملحت باستخدام $SO_4^=$ واضح بمقارنته مع المعاملة المقارنة Control وعلى الجانب الآخر فمعدل النتح فى النباتات من الأراضى التى ملحت بالكلوريد Cl^- قد انخفض بوضوح وأوضح أن ذلك قد يكون لأن مقدار الماء المتحرك وسهل التبادل فى النبات فى وجود $SO_4^=$ يزيد بينما النباتات النامية فى وجود Cl^- كان معظم الماء يتبادل بصعوبة.

٢- كان امتصاص الماء فى الجذور فى معاملة المقـــارنة Control مع نباتات $SO_4^=$ عمليا متساويين بينما تلك فى وجود Cl^- كانت أصغر كثيرا.

قدر(1963) Luinax أثر مستويات من التمليح على عدة حاصلات خضر، وقد لاحظوا البخر نتح ET والمحصول قد انخفضا بزيادة الأملاح.

وقد يكون ذلك الانخفاض أساسا راجعا لانخفاض مساحة الأوراق ويمكن أن يكون أيضا انخفاض مساحة أسطح الجذور.

من دراسات Leo أن الماء المستهلك لنباتات الشعير قد انخفض من ٢٢,٧ إلى ٢١,٠ و ١٨,٩ بوصة بزيادة تركيز $Na_2 SO_4$ فى الماء الأرضى من صفر إلى ٥٠٠ و ١٥٠٠ جزء/مليون على التوالى. وأضاف أن تركيز الماء عند النضج قد تأثر بوضوح بتركيز الملح فى الماء الأرضى وبالمجموع الجذرى.

وفى الأراضى المزروعة اتجه المجموع الجذرى للإسراع فى حركة الماء الملحى من الآفاق السفلية إلى المجموع الجذرى بينما الأرض العارية اتجهت بتجمع الأملاح على سطحها.

ودرس كل من عبد الرحمن والشرقاوى تأثير ملحية ماء الرى على أشجار الزيتون وأوضحت نتائجهما الآتى :

١- زاد الضغط الأسموزى لعصارة النبات فقد زاد بزيادة الضغط الأسموزى لماء الـــرى من صفر إلى ٢٠ جو. وأضافا أن قدرة النباتات الناضجة على رفع ضغطهما الأسموزى كانت أكبر من النباتات الصغيرة.

وذلك يدل على أن النباتات الناضجة قد تكون أكثر مقاومة للأملاح من النباتات الصغيرة.

٢- انخفض النتح بوضوح بزيادة الضغط الأسموزى لماء الرى من المستويات ١ حتى ١٠ جو. وبعدها بدأ أن يكون ثابت تقريبا.

٣- ارتفع محتوى النبات من الماء بزيادة الضغط الأسموزى لماء الرى من ١ حتى ١٠ جو ثم انخفض بعد ذلك وكان الانخفاض الواضح فى محتوى الأوراق من الماء فى حالة التركيزات العالية للضغط الأسموزى لماء الرى قد يرجع إلى أنه فى هذه الضغوط المرتفعة لعصارة النبات كان ارتفاع النتح عند مستوى ثابت تقريبا ويعنى ذلك أن معدل امتصاص الماء ينخفض بارتفاع الضغط الأسموزى لمار الرى من ١٠ إلى ٢٠ جو.

وقد وجد كل من Shelhavet and Bernstein (1968) أنه بارتفاع ملحية الأرض حدث انخـــفاض واضـــح فى المحصول وفى امتصاص الماء فى نباتات

البرسيم الحجازى. كما أوضحا النتائج أن معدل النتح لكل وحدة سعة الورقة كان ثابتا بصرف النظر عن المعاملات الملحية.

كذلك وجد كل من Plaegmam and Vander أن الانخفاض فى استهلاك الماء بنبات التيوليب المروية بماء يحتوى ٢٠جم/لتر من CL^- كان مرتبطا أساسا مع نقص مساحة الورقة الكلية.

❖ عوامل النبات المرتبطة بالبخر نتح

– سرعة الرياح :

من دراسات Wrengae Rohbins اتضح أن سرعة الرياح قد ينتج عنها زيادة فى معدل النتح وفسر ذلك بفرض أن تجمع جزيئات بخار الماء فى جوار مساحات الورقة مباشرة ستشتت والنتيجة لذلك هى زيادة عمق مسار ضغط البخر فى الثغور وبالتالى زيادة فى معدل فقد بخار الماء.

– الضغط الجـــوى :

اتضح من بعض التجارب أن انخفاض الضغط الجوى ينتج عنه زيادة فى معدل النتح .

تأثير حالة الأرض على يسر المـــاء :

إذا أخرت ظروف الأرض الماء للنبات فإن النتح ســريعا ما ينخفض. والعوامل الأرضية التى تؤثر على امتصاص النباتات للماء هى :

١– يسر الماء الأرضى. ٢– حرارة الأرض.

٣– تهوية الأرض. ٤– تركيز المذاب فى المحلول الأرضى.

وجميع هذه العوامل تؤثر مباشرة أو غير مباشرة على معدل النتاح. ويعتقد أن ملحية الأرض ذات تأثير كبير على نمو النبات وامتصاص الماء غير أنه لم يعطى أى اهتمام كبير لأى مدى يمكن أن تؤثر ملحية الأرض مع اختلافات التركيز يمكن أن تؤثر على استهلاك الماء فى مختلف الحاصلات خلال فترة النمو.

تأثير الأملاح على نمو الجذور وامتصاص الماء :

أوضحت عدة تجارب معملية باستخدام زرعات مائية ورملية علاقة هامة بين نمو الجذور وامتصاص الماء تحت ظروف ملحية مختلفة.

أوضح Kurgul Teva (1935) أن النقص فى معدل دخول الماء فى خلايا أوراق القطن فى ظروف ملحية قد تكون راجعة لانخفاض نفاذية خلايا الجذور للماء.

وأضاف أن معدل النتح فى النبات المغطى ليس الجذور فقط بل أن قوة الشد فى الأوراق لها أيضا وظيفة هامة فى هذا المجال.

وأوضح كل من Nightengal and Farharm (1936) أنه بزيادة تركيز الأملاح من ٠,٥ إلى ٣,٠ جو انخفض امتصاص الماء ونضجت الأنسجة مبكرا. وأيضا أوضح كل من Hyward and Spurs أن الضغط الأسموزى لعصارة النبات أحد العوامل الرئيسية فى ضغوط معدل دخول الماء إلى جذور الذرة.

أضاف Uhvites الأملاح إلى ماء بيئة النمو وكان الضغط الأسموزى بين ٠,٥ إلى ٨,٠ جو ولاحظ أن الإنبات وامتصاص الذرة والفول للماء قد أبطأ فى حالة التركيز الأعلى.

ودرس Wadliegh *et al.* (1947) آثار الملح على أعماق مختلفة على إمكان استخلاص تحلل الرطوبة بواسطة الفول والذرة والبرسيم الحجازى والقطن وأوضحوا أنه بزيادة الأملاح فى طبقات الأرض نقصت قدرة الحاصلات على انتزاع الماء.

وأوضح Fedoravski (1950) أن زيادة الضغط الأسموزى فى المحلول الخارجى الناتج من إضافة ملح الطعام أو $Na_2 So_4$ أو السكروز أدى إلى نقص واضح فى امتصاص الماء لكل من الذرة والراى.

وأوضح كل من Hayward and Bernstien (1958) أن تواجد تركيزات زائدة من الأملاح الذائبة فى منطقة الجذور قد تؤثر على نمو الجذور بعدة طرق:

زيادة الضغط الأسموزى فى المحلول الأرضى تعمل على خفض امتصاص الماء بواسطة الجذور وعلى الجانب الآخر عندما يمتص النبات الأيونات المسببة لملحية المحلول قد ينتج عنها فى بعض الحالات تسمم ينتج عن تجمع أيونات معينة أو نقص امتصاص بعض العناصر الضرورية ووصف Gardner تدفق الماء خلال الأرض إلى الجذور ودورها فى النتح وأن معادلة التدفق توضح أن معدل النتح يتناسب مع معدل امتصاص الماء أو احتمالات النتح.

وأضافا أنه فى حالة جفاف الأرض فإن انخفاض نقص ضغط الانتشار لا يزال موجودا. وزيادة نقص ضغط الانتشار تكون مصحوبة بنقص ضغط الانتشار منه turgor Pressure وبالتالى تنقص نفاذية النباتات لتدفق الماء وكذا معدل النتح.

ويوضح Lunin أن دخول الماء الملحى فى منطقة معينة بالأرض أدى إلى نقص امتصاص الذرة والطماطم للماء من هذه المنطقة بزيادة الملحية حتى نقطة حرجة توقف عندها امتصاص الماء.

تقدير البخـــر نتح

❖ معـــادلـــة Penman

تقدير البخر نتح مشكلة تساهم فيها الأرصاد الجوية وعلم الأراضى وعلوم النبات وذلك لنقص القياسات المباشرة وقد اقترحت عدة معادلات تجريبية ونصف تجريبية empirical and semiemperical لتقدير البخـــر نتح "ET" باستخدام القيم المناخية المتاحة مثل متوسط حرارة الهواء الشهرية. والرطوبة النسبية والنسبة المئوية لضوء الشمس والاشعاع الشمسى.

ومن هذه المعـــادلات معـــادلات بنمان Penman ، و Criddle–Blainy وهارجريفز Hargreaves ورايتما Rigtema وفون بافل Vonbavel وبارتوليك.

طريقة Penman تعتمد على دمج ديناميكيات الهواء وتوازن الطاقة ورغم أنها أكثر تعقيدا فإنها واسعة الاستخدام ولتقدير "ET" تكون معادلة Penman كما يلى :

$$ET = DH + 0.27\,Ea$$

حيث :

$$H = R_A\,(1 - r)\,(0.18 + 0.55\ {}^{n}/_{N}) - \sigma\,Tn^4\,(0.56 - 0.92\sqrt{ed}\,)\,(0.10 + 0.90\ {}^{n}/_{N})$$

$$E_a = (0.0098\,U_2 + 1)\,(e_a - e_d)\,0.35$$

حيث :

H : الاشعاع النهائى (net) الداخل incoming $mm\ H_2O/day$.

R_A : متوسط الاشعاع الزائد extra terrestrial $mm\ H_2/day$.

r : معامل الانعكاس السطحى.

${}^{n}/_{N}$: النسبة المئوية لضوء الشمس.

σ : ثابت بولتزمان.

e_d : ضغط البخار الحقيقى فى الهواء $mm\ Hg$.

e_a : ضغط البخار المشبع عند متوسط درجة حرارة الهواء $mm\ Hg$.

E_a : البخر $mm\ H_2O/day$

U_2 : متوسط سرعة الرياح على ارتفاع ٢م فوق سطح الأرض ميل/يوم.

ET : البخر نتح $mm\ H_2O/day$.

D : ميل خط ضغط بخار الهواء عند درجة الحرارة المطلقة $mm\ Hg/F^0$.

0.27 : ثابت السيكرومتر.

وتستلزم معادلة Penman الآتى :

أ- يجب ألا يكون الماء ناقصا.

ب- للنبات ارتفاع منتظم.

ج- النبات أخضر وفى حالة نمو نشط.

د- تظلل النباتات الأرض جميعها فى موقع النمو خلال موسم النمو.

❖ معـــادلــة Blainy Cridle

تستخدم درجات الحرارة وساعات النهار ، وقد استنتجت فى الجنوب الغربى من الولايات المتحدة بضرب متوسط الحرارة الشهرى "t" فى المتوسط الشهرى لنسبة ساعات النهار فى السنة ينتج معامل استهلاك الماء كما يلى :

$$U = K \Sigma pt = KF$$

حيث :

U : استهلاك المحصول من الماء فى فترة زمنية معروفة.

F : مجموع معاملات الإستهلاك المائى فى نفس الفترة.

K: معامل تجريبى emperical (سنوى أو فى موسم الرى أو موسم النمو).
(أى الإستهلاك المائى إلى عامل الجو)

t : متوسط درجة الحرارة الشهرى F^0.

P : النسبة المئوية لساعات النهار فى السنة (التى تحدث خلال هذه الفترة)

وقد استنتجت المعادلة لتناسب الظروف الجافة وتعطى تقديرات للاحتياجات المائية الموسمية تحت هذه الظروف.

❖ معـــادلة Hargreives

اقترح هارجريفر استخدام طبق A للبخر Class "A" pan evaporation كدليل للأرصاد الجوية المناخية ولأن بخر الطبقA ليس متاحا دائما ويتغير فى تقديرات

البخر لعرض الطبق بذلت محاولة لإيجاد معادلة لحساب المعامل المناخى الذى يساوى طبق Class A من طبق يوضع معرضا بدرجة ثابتة أو فى مساحة واسعة وتبدو المعادلة كما يلى :

$$ET = KET$$

$$EP = 17.4\ Dt\ f_m\ f_w\ f_2$$

حيث $0.59 - 55\ H_n - F_m$

$0.75 + 0.0255\ \sqrt{WKd} - F_W$.

و $0.478 + 0.585 = F_S$

$0.35\ H_m + 0.64\ K^2{}_m - H_n$

و

ET : هى البخر نتح أو الاستهلاك المائى.

Ep : البخر من الطبق المعرض mm class A pan.

F_c : معامل المحصول وهو البخر نتح إلى بخر الطبق.

T : متوسط درجة الحرارة الشهرى م°.

D : معامل شهرى لوقت النهار. أى نسبة طول النهار فى الشهر إلى ١٢ ساعة.

معاملات F_H, F_W, F_S, F_E معادلات مرتبطة بالرطوبة (h) والرياح وضوء الشمس (S) أو الارتفاع elevation E على التوالى.

H_m : النسبة المئوية للرطوبة.

H_n : متوسط الحرارة النسبية.

W_{Kd} : متوسط سرعة الرياح km/day على ارتفاع ٢م.

S : النسبة المئوية لضوء الشمس.

E : الارتفاع عن سطح الأرض بالمتر.

ويرى هارجريفر أن الذرة النامى قرب ارتفاع البحر فى المناطق المدارية ينضج فى ٣ شهور بينما الذى ينمو على ارتفاع ٨٠٠٠ قدم ينضج فى ٩ شهور.

معادلة رايتما Rijtema :

وثمة معادلة أخرى لتقدير البخر نتح فى المناطق الجافة ونصف الجافة اقترحها رايتما Rijtema (١٩٦٩) كما يلى :

$$ET_{re} = \frac{D + \gamma}{D + \gamma (1 + f(Z_0, d)\, u^{0.75} r_c}$$

$$ET_{max} = \frac{DH_{nt} + F(Z_o, d)(E_a - e_a)}{D - \gamma}$$

حيث :

ET_{re} : البخر نتح الحقيقى mm H_2O/day.

H_{nt} : الإشعاع النهائى net radiation مم H_2O /يوم.

D : ميل درجة الحرارة مع خط ضغط البخار m bar/ C^0.

γ : تأثير السيكرومتر mb/C^0.

$F(Z_0, d)\, u^{0.75}$: معامل نقل البخار mm/day/m bar.

E_a : ضغط البخار المشبع فى درجة حرارة الهواء المتوسطة m bar.

e_a : ضغط البخار الحقيقى m bar.

r_c : مقاومة السطح m bar day/mm.

ET_{max} : البخر نتح الأعظم من غطاء كامل بالمحصول.

وهذه المعادلة تشبه معادلة Penman والاختلافات الأساسية هى :

١- تأثير المحصول Crop roughness وعلاقته بطول المحصول $f(Z_0, d)$.

٢- ادخال مقاومة السطح r_c ذات الصلة بغطاء الأرض وحالة الرطوبة.

وتوجد معادلات أخرى اقترحها فان بافل Van Bavel (١٩٦٦) التى تجمع معادلة الاتزان جهد السطح ويعتبر تقريبى عن ضغط بخار الماء وتوصيل الحرارة وتستخدم معادلة باثوليك درجة حرارة السطح فى تقدير البخر من سطح مبتل.

حساب البخر نتح ET

أ- بطريقة معـــادلـــة Penman

جدول (٢): أرقام الأرصاد المناخية اللازمة لمعادلة Penman

الأرقام المطلوبة	الرمز	القيمة	الوحدات	المصدر
متوسط درجة الحرارة الشهرى	T	٢٦,٦	م°	تقرير الأرصاد الجوية
الرطوبة النسبية	RH	١٧١	%	
ضوء الشمس	$^{n}/_{N}$	٨٩	%	
سرعة الرياح على ارتفاع ٢م	$U_{2.0}$	١٤٦	ميل/يوم	
الاشعاع	R_A	١٥		
ضغط البخار المشبع	R_A	١٥	مم يد٢/١مم يد٢/١/يوم	
ضغط البخار المشبع	e_a	١٧,٣	مم Hg	
ضغط البخار الواقعى	e_{cl}	١٢,١	مم Hg	$(e_a \times R11)$
ثابت بولتزمان	١١٨		كالورى /سم٢	تقرير رايتما
الحرارة المطلقة	Ta	٢٩٩	١٢٥	
	Ta^4	١٦,٢٥	مم يد٢ أ /يوم	
منحنى ضغط البخار المشبع عند درجة الحررة المطلقة				
معامل الانعكاس	r	%٢٥	%	تقرير رايتما

خلال أغسطس ١٩٧٤

الحـــســـاب :

$(e_d \times ٩٢\sqrt{\ }\ ٠,٠٩٢ - ٠,٥٦)\ {}^{4}T_0 - (٠,١٨ + ٠,٥٥)\ {}^{nN}(r-1)\ R_A = H$

$^{n}/_{N}\ ٠,٩٠ + ٠,١$

H = ١٥ × ٠,٧٥ (٠,١٨ + ٠,٥٥ × ٠,٨٩) – ١٦,٢٥/ (٠,٥٦ – ٠,٠٩٢ + ١٢,١)
(٠,١٠ + ٠,٩٠ × ٠,٨٩ $^{n}/_{N}$).

H = ٤,٠٢ مم يد٢ أ /يوم.

E_a = ٠,٣٥ ($e_a - e_d$) (١ + ٠,٠٠٩٨ U).

= ٠,٣٥ (١٧,٣ – ١٢,١) (١ + ٠,٠٠٩٨ × ١٤٦).

= ٤,٤٢ مم يد٢ أ /يوم.

باستخدام القيم المحسوبة (H و E_a) فى معادلة رايتما يحصل على :

ET = (٠,٨٢ + ٤,٠٢) + (٠,٠٢٧ × ٤,٤٢) / (٠,٨٢ + ٠,٢٧) = ٤,١٢ مم/يوم

ب- بطريقة معادلـــة Blainy Cridle

جدول (٣): أرقام الأرصاد المناخية اللازمة لمعادلة Blainy Cridle

القيم المطلوبة	الرمز	القيمة	الوحدات	المصدر
متوسط الحرارة الشهرى	t	٧٩,٩	^0F	تقارير الأرصاد الجوية
النسبة المئوية لساعات النهار	P	٩,٠٣	%	
فى ٣١ يوم من أغسطس				
معامل الاستهلاك المائى	K	٠,٧٥ – ٠,٨		من أراء نيلسون

خلال أغسطس ١٩٧٤

الحســـاب :

إذا كانت K = ٠,٧٥   u = pt 3K

فإن u = ٠,٧٥ × ٠,٠٩٠٣ = ٧٩,٩ × ٢٥,٤/٣١ = ٤,٤٣ مم/يوم.

إذا كانت K = ٠,٨

u = ٠,٨ × ٠,٠٩٠٣ × ٠,٩ × ٢٥,٤/٣١ = ٤,٧٣

جـ- بطريقة معادلـة Hargreives

بإدخـال القـيم المحسـوبة المرتبطة بمعاملات الرطوبة والرياح وضوء الشمس والارتفاع نحصل على :

جدول (٤): أرقام الأرصاد المناخية اللازمة لمعادلة Hargreives

الأرقام المطلوبة	الرمز	القيمة	الوحدات	المصدر
متوسط الحرارة الشهرى	T	٢٦,٦	م°	
متوسط الرطوبة النسبية	H_m	٧١	%	
ضغط البخار الحقيقى معامل نسبة النهار	e_a	١٢,١	مم زئبق	
ضغط البخار المشبع طـول النهـار فى الشهر لمدة ١٢ ساعة.	E_a	١٧,٣	مم زئبق	
متوسط سرعة الرياح	W_{hd}			
ضوء الشمس	S	٨٩	%	
الارتفاع	E	٠,٠٥	متر	
الرطوبة النسبية ظهر	H_n	٠,٥٨	%	
معامل الرطوبة	F_H	٠,٤٠٥		F_H = ٠,٥٩ – ٠,٥٥ H_m^2
معامل الرياح	F_w	١,١٤		F_u = ٠,٧٥+٠,٠٢٥٥ $\sqrt{W.d}$
معامل ضوء الشمس	F_s			F_s = ٠,٠٠٠١١ + ٠,٩٥E
معامل الاستهلاك المائي	K	٦٠,٧٥		إسرائيليون

خلال ١٧ أغسطس ١٩٧٤

الحسـاب :

إذا كانت 0.75 = K

$$ET = 0.75 (17.4 \times 1.96 \times 26.6 \times 4.05 \times 1.14 \times 0994 \times 0.95 / 31$$
$$= 5.17 \text{ mm/day}$$

د- بطريقة معادلـة رايتما Rijtema

بإدخـال القـيم المحسـوبة المرتبطة بمعاملات الرطوبة والرياح وضوء الشمس والارتفاع نحصل على :

جدول (٥): أرقام الأرصاد المناخية اللازمة لمعادلة رايتما Rijtema

الأرقام المطلوبة	الرمز	القيمة	الوحدات	المصدر
متوسط درجة حرارة الشهر	T	٢٦,٦	^{0}م	
الرطوبة النسبية	RH	٧١,٠	%	
ضغط البخار المشبع	E_a	١٧,٣	مم Hg	تقرير الأرصاد الجوية
ضغط البخار الحقيقى	e_a	١٢,١	مم Hg	
بعض ضغط البخار	$E_a - e_a$	٥,٢	مم Hg	
سرعة الرياح على ارتفاع ٢م	U_2	٢,٧	متر/ثانية	
	U 75 2.11			
انتقال البخار	$(e_a - E_a)$			
	$(Z_0. d) U^{75}$	١٣,١٨		
دالة تعتمد على المحصول	$F (Z_0 d) Z_0$	١,٠٢		
الاشعاع net radiation	H	٥,٩٢	مم Hg/يوم	
منحنى الحرارة مع الضغط	D	٠,٨٢	مم Hg/يوم	
منحنى ضغط البخار المشبع مع تأثير السيكرومتر		٠,٢٨	مم Hg/يوم	
مقاومة السطح	r_c	٠,٦	مم Hg/يوم	

خلال أغسطس ١٩٧٤

الحساب :

$$E_{max} = \frac{(٠,٨٢)\ (٥,٩٢) + ٠,٢٦\ (١,٢)\ (٢,١)\ (٥,٢)}{٠,٨٢ + ٠,٢٦}$$

$$E_{re} = \frac{٠,٢٦ + ٠,٨٢}{٠,٨٢ + ٠,٢٦\ [١ + (١,٢ \times ٠,١١ \times ٠,٦)]}$$

= ٥,٦٣ nm/day.

وفى معادلة رايتما عرفت الحدود الآتية :

The evapo transport coeffrissenr معامل انتقال الضغـط

F (Z_0, d) على أساس دراسات رايتما ١٩٦٥ بالأعشاب grass واختبر بعد ذلك بالنسبة لحاصلات أخرى تحت ظروف رطبة وجافة.

The surface resistance مقاومة الســطح

أوضح رايتما أن مقدار مقاومة السطح يتحدد بغطاء الأرض والإمداد المائى للمحصول أو تأثير الغطاء الأرضى على معدل البخر يتوقف بشدة على حالة الرطوبة للأرض السطحية.

ففى حالة الأرض السطحية الرطبة فإن التأثير المنخفض لغطاء الأرض على ET يعوض تقريبا كليا بواسطة E من الأرض العادية وبزيادة تجفيف الأرض تنخفض قيمة E بالطبقة السطحية الجافة فقيمة "r" بالنسبة لغطاء الأرض وضح أنها مستقلة عن نوع المحصول وقد استخدمت القيم فى الجدول فى هذه الدراسة (بليع وسليمان).

The albeda of the evaporating surface

معامل انعكاس الأشعة الشمسية بسطح الأرض الالبيدو قد أوضح رايتما أنه ليس ثابتا بل مختلف باختلاف الموسم ولون السطح المتبخر.

ويرى أنه ثابت فى حساب البخر نتح وأوضح قيم الالبيدو للماء المكشوف والسطح المزروع والسطح الرطب العادى كان ٠,١٥ – ٠,٢٤ – ٠,٠٥ على التوالى.

البخر نتح المقدر والمحسوب :

سبق ذكر أنه لأن مدة التجربة كانت ٢٥ يوما فإن قيم ET خلال الأيام العشرة الأخيرة قد تعتبر أكثر صحة من المدة جميعها طوال التجربة وبالتالى فعند مقارنة القيم التجريبية فإن ET خلال الأيام العشرة الأخيرة استخدمت للمقارنة.

كما أن معادلة رايتما أخذت فى الاعتبار النسبة المئوية لتغطية الأرض بالنبات النامى أما المعـــادلات الأخرى فإنها اعتبرت أن الأرض جميعها مغـــطاه

والنباتات فقيمة ET المحسوبة بفرض ٧٥ و ١٠٠% تغطية استخدمت واعتبر الكاتب أنها تمثل النسبة الحقيقية فى هذه الدراسة.

تجارب الأوعية (القصارى) " دراسة بلبع وسليمان "

لتقدير البخر نتح من براميل مزروعة بحشيشة السودان .

إعداد البراميل وتعبئتها بالأرض :

براميل فخارية مزججة glazed قطرها ٢٠سم وعمقها ٣٨سم أعدت لتروى من تحت الأرض من أنبوبة سيفون ماريوط سيفون قطرها ٢٠ مم وطولها ٥٠سم مع أنبوبة من المطاط متصلة بقاع البرميل ووضعت طبقة سميكة ٢٠سم من الرمل فى قاع البرميل قبل تعبئته بالرمل الخشن والـحصى وغطى القاع بورق الترشيح لكل برميل. ثم عبئت بالأرض بنفس نظام الأرض الجافة إلى ارتفاع متساو ٣٥سم من القاع وضغطت بنظام للحصول على تعبئة منتظمة.

ونفذت هذه الطريقة لنقل ١٧,٥٨٤كجم من كل أرض رملية حتى ارتفاع ٣٥سم من قاع البرميل واختبر كل برميل قبل الزراعة بحيث يكون صعود المحلول متساويا بعد توصيل أنبوبة ماريوط سيفون إلى قاع البرميل وحجم الماء فى مدة متساوية الذى صعد بالخاصة الشعرية سجل على السطح وعلى هذا الأساس اختبر البرميل.

الذى يصل إلى ٤ ± ٠,١ لتر/٢ ساعة :

أعدت محاليل كلوريد الصوديوم وكبريتات الصوديوم وكلوريد الكلسيوم بإذابة المقدار المناسب من كل ملح فى ماء الصنبور ليعطى١٥ أو ٣٠ ملليمكافئ/ لتر من كل ملح وكان تحليل ماء الصنبور كالآتى :

كا	١,٢٥	كل	٠,٩٥
مغ	١,٠٥	يد ك أ٣	٠,٥٥
ص	١,٢	كب أ	٢,٥٥
بو	٠,٣٥	ك أ٣	آثار
مجموع الأملاح	٣,٩٠	التوصيل الكهربائى	٠,٣٩ دس/م

استخدم محلول مغذى للنباتات باستخدام نصف تركيز أرنون وهوجلاند Arnon & Hoagland مخلوطا بأملاح كل محلول لاستخدامه فى الرى.

Arnon & Hoagland Soln

حز ئ	GIL	
٠,٠٠٥٠	0.510	KNO_3
٠,٠٠١٥	٠,٤٤٦	$Ca (NO_3)$
٠,٠٠١٠	٠,١١٥	$(NH_4) H_2PO$
٠,٠٠١٠	٠,٢٤٥	$Mg SO_4 - VH_2O$
	%٥	$FeSO_4$

جزئ		حامض نرتاريك ٠,٤%
٢,٨٦	0.510	HPO_4
١,٨١	٠,٤٤٦	$MnCl_2$
٠,٠٨	٠,١١٥	$CuSO_4$-OH_2O
٠,٢٢	٠,٢٤٥	$Zn SO_4 - 7H_2O$
٠,٠٩	(m_OO % ٨٥)	$H_2 M_O O_4 - 7H_2O$

التجـــربـــة :

استخدم نظام التصميم العشوائى ٣ مكررات لكل معاملة لدراسة ما يلى :

التأثير النوعى للكاتيونات (ص – كا) والأنيونات (كل – كب أ$_4$) مع ٣ تركيزات – ماء صنبور – ١٥ – ٣٠ ملليمكافئ/لتر من مستوى ماء ضحل على :

١) تجمع الأملاح وتوزيعها فى الأعمدة الفارغة والمزروعة.

٢) توزيع الماء فى الأرض على طول العمود حتى قاع البرميل.

٣) نمو النبات وامتصاصه للكاتيونات والأنيونات.

٤) البخر – نتح.

فى ٢٧ يوليو سنة ١٩٧٤ أعد ٢١ برميل بتعبئتها برمل مغسول من كاك أم حتى كثافة ظاهرية ثابتة (١,٦ جم/سم^3) وزرعت حبوب حشيشة السودان بمعدل ٢٠ حبة لكل برميل.

وأضيف الماء حتى ارتفاع مستوى الماء الأرضى ١٥سم من السطح للحفاظ على وجود مستوى أرضى على بعد ١٥سم من السطح لنمو النباتات.

بعد ٤ أيام خفت البادرات على ١٠ نباتات لكل برميل ، وخفض مستوى الماء الأرضى تدريجيا حتى مستوى ٢٥سم من السطح.

بهذا النظام أعدت جميع البراميل المعبأة بالأرض وأصبحت مستعدة لإستقبال صعود الماء بالخاصة الشعرية من أنبوبة السيفون.

وخلط (أرنون وهوجلاند) المحلول المغذى جيدا مع كل ملح طبقا للمعاملة واستخدم محلول مغذى مخفف (٥٠% هوجلاند) لتقليل تجمع الأملاح وتخفيف أثرها على نمو النباتات خلال فترة التبخر والبخر – نتح.

سجل البخر والبخر – نتح اليومى (سم³/يوم) من أنبوبة ماريوط المدرجة في نهاية التجربة فى ٢٥ أغسطس سنة ١٩٧٤ سجل طول النبات وقدرت مساحات الأوراق بطريقة الوزن وحصدت النباتات وقدر الوزن الطازج والجاف لكل مكرر وحسب الوزن المتوسط لكل معاملة كما حصدت جذور النباتات ووزنت طازجة ومجففة فى مكررتين. وترك المكرر الثالث لأخذ عينات من الأرض من عمق ٢,٥ حتى ١٠ و ١٠ إلى ١٥سم وكل ١٠سم حتى القاع.

وأجريت التحليلات الآتية :

مستخلص الأرض – التركيز الكلى للأملاح فى ٥:١ مستخلص الأرض بتقدير التوصيل الكهربائى وضرب قيمة التوصيل × ٩ – ١٠ – ١٠,٥ – ليعطى التركيز بالمليمكافئ/لتر وهذه المعاملات ٩ – ١٠ – ١,٥ تم الحصول عليها مسبقا من محاليل ذات تركيزات مختلفة من Na_2SO_4 $NaCl$ $CaCl_2$ وتوقيع التوصيل الكهربائى مع التركيز طبقا لطريقة Richards وزملاؤه.

تحليل النبـــات :

محتوى النباتات من الماء – N كلى – كا كل٢ – ص كل – Ca كلى كما قدر فى الجذور والسيقان والأوراق بطريقة جاكسون ١٩٥٧ وحسب مقدار كل عنصر (التركيز × الوزن الجاف).

تقدير مساحة الورقة بطريقة الـوزن :

لكل معاملة اختيرت خمس نباتات و ٣ أوراق من مواقع مختلفة على طول النبات.

حركة الأملاح وتوزيعها فى أرض العمود :

اتضح ارتفاع تركيز الأملاح فى الطبقة السطحية من الأرض مع انخفاض شديد فى هذا التركيز فى الطبقات التالية :

على سبيل المثال كان تركيز NaCl فى سمك ٠,٦سم سطحية ٣٣,٢٩ ملليمكافئ/جم أرض بينما عند عمق ١,٨سم من السطح كان تركيز NaCl ٧,٣٨ ملليمكافئ/جم.

وأعمق من ذلك فى العمود الأرضى اقترب من التركيز الأصلى للأملاح فى المحلول المستخدم.

وأستمر تجمع الأملاح فى الطبقة السطحية العليا بمضى الوقت وازداد سمك طبقة التجمع واختلف تركيز الكاتيونات فى طبقة التجمع طبقا لنوع الكاتيون بعد ٢٥ يوما كان تركيز البوتاسيوم والصوديوم و كا و مع فى الطبقة العليا (٠,٠ حتى ٠,٦سم) كان ٢٩,٩٣ و ٣٣,٢٩ و ٣٣,٢٩ و ٢٦,٩٣ و ٢٨,٧٢ ملليمكافئ/جم على التوالى وكذا كانت تركيزات الكاتيونات فى الطبقات تحت السطحية كانت مختلفة لكنها لم تتبع مقدارها النسبى من تركيزات الكاتيونات فى الطبقة العليا.

وتركيز الأملاح فى هذه الأعمـدة واضح أنه ناتج عن حـركة المحاليل بالخاصة الشعرية والانتشار وما تبعها من بخر عند سطح الأرض أو قربه.

والخاصة الشعرية عامل ثابت فى جميع المعاملات إذ كانت تعبئة الأعمدة متماثلة بقدر الإمكان. والعامل الآخر الذى قد يسبب الاختلاف فى مقدار الأملاح التى وصلت سطح العمود هو الانتشار.

انتشـــار الكاتيونات :

اتضح أن الأعمدة الأرضية قد وصلت حالة الثبات بالنسبة لصعود الماء المقطر وقد أغلقت لمنع البخر قبل وضعها فى المحاليل المحتوية ١٠٠ ملليمكافئ/ لتر من الأملاح $KCl, Na\ Cl, Ca\ Cl_2, Mg\ Cl_2$ وبعد مدة ٥ أيام قطعت أرض العمود إلى قطاعات كل ٠,٦سم وقدرت فيها الكاتيونات وحركة الكاتيونات تحت ظروف التجربة كانت راجعة للأنتشار من المحلول الملحى إلى العمود الأرضى والارتفاع الذى وصلت إليه الأملاح بعد كل مدة اختلفت كثيرا فبعد ٥ أيام وصل المغنيسيوم ١,٢ – ١,٨سم من القاع والكالسيوم والصوديوم ٣ – ٣,٦سم وكان صعود $K > Na > Ca > Mg$.

وقد وصل البوتاسيوم سطح العمود الأرضى بعد ١٥ يوم بينما الصوديوم احتاج إلى ٢٠ يوما ليصل إلى السطح والكالسيوم والمغنيسيوم لم يصلا السطح إلا بعد ٢٥ يوما وبمقارنة الانتشار لكل من الكاتيونات الأربعة اتفق مع القطر المتأدرت وكلمـــا صغر القطـــر المتأدرت أســـرع انتشار الكاتيون ويعرف ذلك رياضيا بالمعادلة الآتية :

$$D = \frac{RT}{N ٦ \sqrt{\eta}}$$

حيث D معامل الانتشار سم٢/ثانية.

R ثابت الغاز أرج/درجة/جزىء erg/degree/mol.

T الحرارة المطلقة.

N عدد افوجادرو ٦,٠٢ × ١,٠^٢٣.

π ٣,٤

η لزوجة المذيب بويز.

نصف قطر العنصر المنتشر diffusing particle سم باعتبار أنه كروم وقد سبق أن ذكرنا أن القطر المتأدرت لكل من بو ، ص كا ، مغ هو ٣ و ٤ و ٤,٥ و ٥ و٦ و ٦ Å على التوالى وهو مماثل لترتيب انتشار كل من الكاتيونات.

❖ أثر الأملاح على البخـــــر

عندما تصل المحاليل على سطح الأعمدة يتبخر الماء تاركا أملاحه على أو قرب سطح الأرض على أى حال تواجد الأملاح يؤدى إلى عدة تحولات فى خواص الأرض التى تؤدى إلى تغيرات فى مقدار الماء المتبخر وبالتالى تغيرات فى تركيزات الأملاح على سطح الأرض وعلى توزيعها على طول أعمدة الأراضى.

وقد اتضح أن وجود مغ كل٢ أو ص كل أو بو كل فى الماء الأرضى الضحل يؤدى إلى نقص مقدار الماء المتبخر وأصبح هذا النقص واضحا بعد ٥ أيام. وفى حالة الماء المقطر كان جملة البخر ٦,٥سم³/عمود بينما البخر المتجمع فى حالة المحاليل المحتوية على ١٠٠ ملليمكافئ/لتر من الأملاح التى تمد الماء الأرضى الضحل كان ٥,٩ ، ٥,٦ ، ٥,٣٥ ، ٥,٢٠ سم³/عمود. وكان تأثير الكاتيونات المختلفة من أعمدة الأراضى الرملية خلال المدد المختلفة وحسب مجموع البخر كنسبة مئوية من البخر فى الماء المقطر وكان ماء مقطر ١٠٠ بو كل ٨٨,٤% ، ص كل ٨٣,٣ ، كا كل ٨٠,٠ ، مغ كل ٧٠%.

وكما سبق وأن ذكرنا كان الماء الأرضى ضحلا وكان العمود رمل مغسولا وسعته التبادلية الكاتيونية ٤,٣ ملليمكافئ/١٠٠جم. وفى هذه الظروف يكون تأثير خواص الأرض تقريبا صفر ويكون المسيطر على البخر هو خواص الماء.

وقد سبق أن ذكرنا أن الأملاح ترفع نقطة الغليان وتخفض الضغط الجزيئى إلا أن تحرر جزيئات الماء يستلزم جهدا أكبر فى وجود الأملاح منه فى عدم وجود الأملاح. وقد سبق أن ذكرنا أن الأملاح تحتفظ بأعداد مختلفة من جزيئات الماء حولها، وهذه الجزيئات المرتبطة مع الماء تستلزم جهدا أكبر لتحريرها.

وقد اتضح أن مقدار الماء المتبخر قد اختلف باختلاف نوع الكاتيون فـــكان نقص البخر فى حالة مع كل٢ كا كل٢ > ص كل > بو كل الواضح أن ذلك يرجع إلى خواص الكاتيونات مثل تكافـــؤ الكاتيون وعلاقـــاته مع تأدرت جزيئات الماء

حوله لهما أهمية خاصة فطبقا لقانون كولومب فإن قوة التجاذب بين الكاتيون وجزيئات الماء حول الماء المتأدرت تزداد بنقص قطر الكاتيون. وعلى هذا الأساس فالمغنيسيوم ذو القطر المتأدرت ٠,٧٥ Å يجذب جزيئات من الماء بقوة أكبر من الكالسيوم الذى له قطر متأدرت ١,٠٦ Å وكذا الحال فى الصوديوم فقطره المتأدرت ٠,٩٨ Å يجذب ماء أكثر من البوتاسيوم بقطره المتأدرت ١,٣٣ Å كما أن الكاتيونات ثنائية التكافؤ كا ومغ تجذب جزيئات ماء بقوة أقوى من أحادية التكافؤ Na , K وقد نتج عن ذلك أن الماء المتبخر يرتبط مع جهد الهدرته وقد أوضح Bueher أن جَهد الهدرته للصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم فى صورة كلوريد كان ٩٥ و ١١٧ و ٤١٢ و ٤٣٨ كيلو كالورى.

❖ دراســة بلبــع وســليمان*

أ- بخر الماء من الأرض وصعوده بالخاصية الشعرية من أعمدة أرضية.

ب- البخر نتح من أرض زرعت بها حشيشة السودان وتأثر لديها الماء السطحى.

أولا – بخر الماء من أعمدة أرضية :

جهزت أعمدة من أرض مجففة هوائيا ووضعت قائمة في ماء مقطر ونتيجة لارتفاع الماء فى الأعمدة الأرضية بالخاصية الشعرية وصلت الجهـــة المبللة إلى سطح العمود الأرضى وسجل الوقت الذى لزم لوصوله إلى السطح، ثم غطى السطح جيدا وتركت الأعمدة في الماء المقطر لمدة ساعتين حتى أمكن الحصول بتوزيع منتظم للرطوبة فى العمود الأرضى.

ووضعت الأعمدة الأرضية فى درجة حرارة ثابتة – حرارة الغرفة – ذات درجة رطوبة نسبية ٨٥% وحرارة متوسطة ٠,٦ – ٦,٠م.

---

* لتفاصيل أوفى يمكن الرجوع إلى رسالة الدكتوراه المقدمة من أ.د. مجدى فهــمى سليمان – كلية الزراعة جامعة الإسكندرية ، (١٩٧٥).

ولإمداد الأعمـدة الأرضية بالمحـاليل وصل كل خمسة أعمدة بالمحلول بواسطة أنبوبة السيفون ماريوت مدرجة بالمللمترات ثم رفع الغطاء عن الأعمدة وعرضت للبخر الطبيعى تحت ظروف محددة.

فكت أنبوبة السيفون ليسمح للماء بالتدفق إلى الأعمدة ، وترك هذا النظام لمدد ٥ و ١٠ و ١٥ و ٢٠ و ٢٥ يوما. وأثناء هذه المدة سجل الفقد فى الماء بالبخر بارتفاعه من أنبوبة ماريوت.

فى نهاية كل فترة ترفع أحد المجموعات ثم قسمت الأعمدة إلى شرائح ٠,٦ حتى عمق ٤,٨ سم ثم كل ١,٢سم حتى نهاية العمود ذى الطول ٩,٦سم.

لدراسة حركة ارتفاع الأيونات أخذت العينات كل مسافة متساوية ٠,٦سم وقدرت نسبة الرطوبة فى كل عينة وحللت كيميائيا.

كان الهدف من تجارب هذا القسم هو دراسة العوامل الآتية التى قد تؤثر الأملاح على توزيعها فى العمود الأرضى.

ارتفاع حركة الكاتيونات إلى أعلى بواسطة الانتشار :

أملاح الكلوريد للكاتيونات Mg, Ca, Na, K بتركيز ١٠٠ ملليمكافئ/لتر من كل كاتيون غمست الأعمدة المغطاه الرطبة فى كل محلول.

وقسم عمود كل مجموعة بعد فترات ٥ و ١٠ و ١٥ و ٢٠ و ٢٥ يوما إلى شرائح قسمت وقدرت المسافة فى كل عينة والكاتيون الذى تحرك إليها بعد كل مدة.

ثانيا – الكاتيونـات :

محاليل محتوية على ١٠٠ ملليمكافئ من كل من Mg, Ca, K, Na.

تجـارب الأوعية لتقدير البخر نتح :

استخدمت براميل فخارية ذات قطر ٢٠ سم وعمق ٣٨ سم وجهزت بحيث تستقبل الماء بالرى من أسفل من خلال أنبوبة ماريوت مدرجة ذات قطر ٥ سم طولها ٥٠ سم مع استخدام أنبوبة مطاطية فى قاع البرميل.

قبل عملية نقل الأرض إلى البرميل غطى القاع بورقة ترشيح ثم نقلت الأرض بانتظام شديد بالأرض المجففة هوائيا بحيث يعطى كثافة ظاهرية منتظمة (١,٦جم/سم٣) ونفذت هذه الطريقة لنقل ١٧,٥٨٨ كجم من الأرض الرملية حتى ارتفاع ٣٥سم من القاع لكل برميل، ثم رجت البراميل لتنظيم التعبئة.

قبل الزراعة اختبر كل برميل بحذر ليعطى ارتفاعا منتظما للماء وأمكن ذلك بتوصيل أنبوبة ماريوت ممتلئة بالماء مع قاع البرميل.

وسجل حجم الماء الذى ارتفع بالخاصية الشعرية ومدة صعوده عندما وصلت جهة الابتلال إلى السطح ؛ وعندما وصل معدل التدفق ٤,٠ – ٠,٤ لتر كل ساعتين.

إعداد مستوى الماء الملحى

أعدت محاليل ص كل ، ص٢ كب أ٤ ، كا كل٢ بإذابة الملح المطلوب فى ماء الصنبور ليعطى تركيز ١٥ أو ٣٠ ملليمكافئ/لتر من كل ملح. وكان ماء الصنبور يحتوى كا ١,٢٥ مغ ١,٠٥ و Na ١,٢ و K ٠,٣٥ مغ كل٢ ٠,٥٩ و أ٣ ٠,٥٥ وك أ٣ ٢,٣٥ و يد ك أ٣ آثار ملليمكافئ/لتر ، وكان التوصيل الكهربائى ٠,٣٩ دس/م.

وجهز المحلول المغذى لتغذية نباتات حشيشة السودان استخدام نصف تركيز محلــول أرنــون وهوجلانـــد Arnon & Hoagland (١٩٤٠) بعد خلطه مع الأملاح لكل معاملة فى ماء الرى.

المحلول المغذى (Arnon & Hoagland)

KNO_3	G/L	جزيئى
$Ca(NO_3)$	46%	٠,٠٠١٥
$NH_4H_2P^2O_4$	10%	٠,٠٠١٠
$MgSo_4 7HO$	0.245	٠,٥٥١٠
$FeSO_4$	0.5% 0.4%	M/L ٠,٦
Tartaric acide		
H_3PO_4		
$MNCl_2 4H_2O$		1.81 mg
$ZnSO_4 7H_2O$		22 mg
$H_2Mo_4 4H_2O$	85% MO_3	

وصف التجربة كاملة العشوائية complete rand omized ثلاثة مكررات لكل معاملة لدراسة الآتى :

التأثير النوعى للكاتيونات (ص ، كا) والأنيونات (كل وكبريتات) بثلاثة تركيزات (ماء الصنبور و٥ و ٣٠ ملليمكافئ/لتر لمستوى ماء ضحل وذلك على:

أ) تجمع الأملاح وتوزيعها فى الأرض بدون نباتات والأرض المزروعة بحشيشة السودان.

ب) توزيع الماء فى أعمدة الأرض.

ج) نمو النباتات وامتصاصها للكاتيونات والأنيونات.

د) البخر – نتح.

في يوم ٢٧ يوليو سنة ١٩٧٤ جهزت ٢١ برميل بتعبئتها برمل مغسول من كا ك أ٣ حتى كثافة ظاهرية ١,٦ جم/سم٣ وزرعت حشيشة السودان بمعدل ٢٠ بذرة لكل برميل. واستخدم ماء الصنبور لجميع البراميل حتى وصل مستوى الـمـــاء (الأرضى) إلى ١٥سم من سطح الأرض للاحتفاظ بمستــوى رطوبة مناسب للبذور لتنبت. وبعد ٤ أيام حقنت البادرات على ١٠ بادرات لكل برميل وحقن مستوى الماء الأرضى تدريجيا حتى العمق المطلوب ٣٥سم من سطح الأرض. وبهذه الطريقة أصبحت جميع البراميل المزروعة والخالية معدة لاستقبال الماء بالخاصية الشعرية من أنبوبة السيفون.

وفى جميع البراميل خلط المحلول المغذى (أرنون وهوجلاند) مع كل معاملة ملحية واستخدم محلول مغذى نصف تركيزا أرنون وهوجلاند لخفض تجمع الأملاح وخفض تأثيرها أيضا على النباتات خلال فترة البر والنتح.

سجل البخر اليومى من أنبوبة ماريوت المدرجة. فى نهاية التجربة و ٢٥ أغسطس سنة ٧٤ طول النباتات ومساحة الأوراق (بطريقة الوزن) وحصدت النباتات وسجل الوزن الطازج والجاف لكل من الأوراق والأفرع لكل مكرر وحسب المتوسط بالنسبة لكل معـــادلة وحصـــدت جذور مكررتين وسجل وزنها

الطازج والجاف. أما المكررة الثالثة فقد احتفظ بها للتحليل من كل عمق عند كل ٢,٥سم حتى عمق ١٠سم من ١٠ – ١٥سم ومن كل ١٥سم حتى قاع البرميل – ٣٥سم.

طرق التحليل الكيميائى :

– مستخلص الأرض

قدرت الأملاح الذائبة فى مستخلص ١ : ٥ بتقدير EC باستخدام جهاز التوصيل الكهربائى Radiometer ويقدر بالمليموز/٢٥سم بالمعاملات: ٩ و ١٠ أو ١٠,٥ ليعطى تركيز الملح بالمليمكافئ/لتر. من أملاح ص٢ كد أ٣ – ص كل – كا كل٢ على التوالى وهذه المعاملات ٩ و ١٠ و ١٠,٥ تم الحصول عليها بقياس التوصيل الكهربائى لمحاليل ذات تركيزات مختلفة ص٢ كد أ٤ قدرت نسبة الرطوبة بالأرض والكاتيونات Mg, Cs, Na, K والكربونات والبيكربونات والكلوريدات فى ماء الصنبور باستخدام الطريقة التى وضعها Ricolardnet ١٩٥٤.

وقدر الآتى فى النباتات :

النتروجين الكلى والبوتاسيوم والفوسفور والكالسيوم والصوديوم فى الجذور والسيقان والأوراق منفصلة بطريقة جاكسون ١٩٥٧ وحسب كمية كل عنصر.

حيث سعة كل ورقة بطريقة الوزن بالنسبة معاملة مائية وقد اختبر خمسة نباتات وثلاثة ورقات فى مواقع مختلفة على طول النباتات لهذا التقدير.

وتم الحصول على النتائج الآتية :

توزيع الأملاح على طول العمود الأرضى وأهم معالم هذا التوزيع هو ارتفاع تركيز الأملاح بالطبقة السطحية مع انخفاض حاد لهذا التركيز فى الطبقات الأسفل منها ففى الطبقة السطحية (سمك ٠,٦سم) كان التركيز ٣٣,٢٩ ملليمكافئ/ ١٠٠جم أرض بينما على عمق ١,٨سم من السطح كان تركيز ص كل ٧,٣٨ ملليمكافئ/١٠٠جم أرض وفى الطبقات الأسفل قارب التركيز الأصلى للملح المستخدم.

وكان توزيع الماء على مدى عمق البراميل مماثلا لنظام توزيع الأملاح مع اختلاف فى كمية الماء الذى احتفظت به طبقات الأرض ويرجع هذا الاختلاف إلى بخر نتح الماء بالنسبة للنبات النامى ولوحظ أن معدل البخر نتح فى البراميل المزروعة بعد ٢٥ يوما كان ٥,٩٢٥ مم/يوم عند استخدام الماء الصيفى وانخفض إلى ٤,٤٥ مم/يوم فى حالة وجود ٣٠ ملليمكافئ/لتر.

وتجمع الأملاح فى الطبقة العليا وبمضى الوقت والطبقة اتالية للعليا يزداد سمكها كما أن تركيز الكاتيونات اختلف تبعا لنوع الكاتيون فبعد ٢٥ يوما كان تركيز البوتاسيوم Mg, Ca, No, K فى الطبقة الأعلى ٠,٦سم ٠,٦سم ٢٩,٩٣ و ٣٣,٢٩ و ٢٦,٩٣ و ٢٨,٧٢ ملليمكافئ/١٠٠جم أرض على التوالى كما أن تركيز الكاتيونات فى الطبقات التالية لهذه الطبقة العليا كانت مختلفة لكنها لم تتبع القيم النسبية للتركيزات فى الطبقة الأعلى.

وكان تجمع الأملاح فى الأعمدة واضحا نتيجة حركة المحاليل بالخاصية الشعرية والانتشار ثم البخر التالى عند السطح أو قريبا منه.

والخاصية الشعرية عامل ثابت بين المعاملات فإن أعمدة الأراضى قد عبئت بشكل متماثل ومتجانس بقدر ما أمكن.

والعامل الآخر الذى قد يسـبب الاختلاف فى كمية الأملاح التى وصلت السطح هو الانتشار.

انتشـــار الكاتيونات :

كانت الارتفاعات التى وصل إليها بعد المدد المختلفة كما سبق ذكر ذلك وقد وصلت إلى حالة الثبات كما قفلت الأعمدة لمنع البخر قبل وضعها فى المحاليل المحتوية على ١٠٠ ملليمكافئ/لتر من الأملاح المستخدمة. وكان لارتفاع خاصية الانتشار تتبع التسلسل الآتى :

بو+ ص كا مغ واتضح أن هذا التسلسل يتوافق مع حجم الأيون النسبى

من ناحية تأثير الكاتيونات على بخر الماء أوضحت الدراسة أن البخر بعد ٥ أيام كان أعلى ما يمكن فى الماء المقطر ويليه فى التدرج بالترتيب محاليل الأملاح التى تحتوى على بو كل، ص كل، كا كل٢، مع كل٢ واستمر هذا الانخفاض فى الماء المتبخر حتى نهاية التجربة وفسر ذلك بتأثير الأملاح على خواص الماء خصوصا انخفاض الضغط البخارى ورفع درجة الغليان كما أن جهد ارتباط جزيئات الماء مع أيونات الكاتيونات المتميئة يختلف باختلاف أنواع الكاتيونات.

أما فى حالة الأنيونات فقد أوضحت الدراسة أنه يوجد انخفاض فى مقدار الماء المفقود بالبخر فى حالة محاليل لأملاح الصوديوم بالنسبة للماء المقطر إلا أن اختلافات بين أيونات كل⁻ و ك أ و كب أ٤ لم يكن له تأثير واضح على مقدار الماء المفقود .

التبـــادل الأيونـــى

بدأت دراسات التبادل الأيونى منذ وقت غير قصير عندما لاحظ way أن محلول الأمومنيوم الذى أضيف إلى الأرض قد انخفض تركيزه لاحتجاز جزء من الأمونيوم فى الأرض.

ومنذ هذه التجربة أخذ التبادل الأيونى موقع الصدارة فى دراسات كيمياء الأراضى.

وفى دراسات تغذية النبات كان التبادل الأيونى أحد الآليات الهامة التى اتفق الباحثون على دور هام لها فى تفسير انتقال الكاتيونات من سطوح الطين إلى سطوح جذور النباتات.

وقد تشعبت دراسات التبادل الأيونى فشملت مصدر الشحنة السالبة على سطوح حبيبات الطين وهى السبب المباشر لارتباط الكاتيونات ذات الشحنة الموجبة بحبيبات الطين. وفى هذا المجال اتضح الآتى كسبب لمصدر الشحنة السالبة على سطوح الطين.

١ – الاحلال المتماثل :

قد يحدث استبدال ذرات السليكا فى رباعيات الأوجه السليكيه من مكونات بللورات الطين بالبدرات أقل فى تكافؤها مثل الألومنيوم كما قد تستبدل ذرات من الألومنيوم فى ثمانيات الأوجه الألومونيه بأخرى ثنائية مثل المغنيسيوم والعجز الناتج عن هذا الاستبدال يسده جزئيا تغير فى داخل البلورة والباقى من العجز تعادله الكاتيونات المدمصه. والشحنه السالبة الناتجة عن الاحلال المتماثل تكون أفضل توزيعا على سطوح الحبيبات من انحلال الهيدروكسيل الذى يكون مركزه عند الأطراف والحواف.

٢ – انحلال الهيدروكســيل :

قد ينفصل الهيدروجين من مجموعة الهيدروكسيل الموجودة على حواف البلورات وتنطلق فى المـــاء المحـــيط بحبـــيبات الطين تاركا شحنة ســـالبة من

الأوكسجين على سطح البلورة وقد أوضح سكوفيلد أن الشحنة السالبة للطين تكون ثابته بين رقمى pH ٢,٥ و ٥ وتمثل هذه الشحنة الفرق الكهربائى المستديم للطين الناتج من الاحلال المتماثل.

وبارتفاع رقم pH إلى ٦ أو ٧ يبدأ انحلال مجموعة الهيدروكسيل وتصبح عاملا وبذا تزيد الشحنة السالبة وبالتالى يحتاج إلى زيادة الشحنات الموجبة. أى تزداد السعة التبادلية الكاتيونية.

والغالب أن مجموعة الهيدروكسيل التى تسبب هذا الانحلال موجودة على حواف الصحائف المكونة من رباعيات الأوجه السليكيه لأن ذرة واحدة وليس ذرتين من السليكون وبذا تمسك كل منهما بذرة هيدروجين أخرى لتعادل شحنتها الزائدة. إما هيدروجين مجموعة الهيدروكسيل المتصلة بالألومنيوم فى ثمانيات الأوجه ألومنيوميه فهو غالبا غير قادر على الانحلال فى حدود رقم pH.

ويتضح من ذلك أن ادمصاص الكاتيونات على سطوح الطين يكون على مستويين :

أ- عند رقم pH ٢,٥ – ٥ يكون الادمصاص محدودا ويتوقف على معادلة الشحنة السالبة الناتجة عن الاحلال المتماثل.

ب- من رقم pH ٦ إلى أعلى من ذلك يزداد ما يستطيع الطين ادمصاصه من الكاتيونات حتى يعادل الحموضة الناتجة عن انحلال الهيدروكسيل.

جدول (٦): أثر انحلال الهيدروكسيل على السعة التبادلية الكاتيونية

نوع الطين	السعة التبادلية الكاتيونية ملليمكافئ/١٠٠جم طين عند رقم pH		الزيادة الناتجة عن انحلال الهيدروكسيل
الكاولينايت	٣,٥ – ٦	٧	
المونيموريللونايت	٤	١٠	٦,٥
	٩٥	١٠٠	٥

عن : Russell 1950

ويتضح من الجدول أن مقدار الهيدروجين القابل للانحلال بين رقمى pH ٧,٦ فى كل من الكاولينيت والمونتيموريللونايت متقارب رغم الاختلاف الكبير بين الشحنة الدائمة لكل منهما.

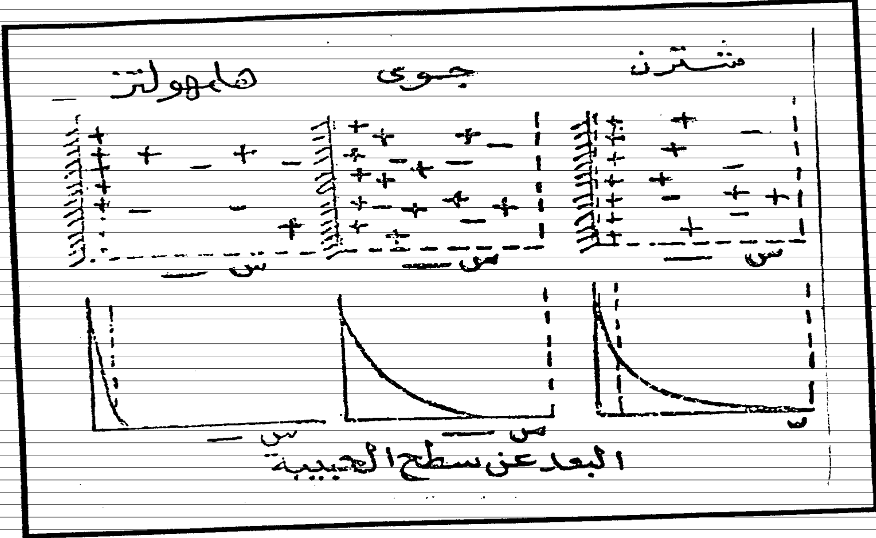
نظرية الطبقة المزدوجة Double layer theory

عندما تتلامس أنبوبة زجاجية مع الماء فإن سطح الأنبوبة الزجاجية يصبح سالبا بالنسبة للماء ذلك بأن سطح الزجاج يدمص adsorb أى تلتصق به مجموعة الهيدروكسيل من الماء فيصبح سالبا، وحتى يتم التوازن تنجذب أيونات الهيدروجين إلى السطح فتكون نتيجة لهذا الترتيب طبقة مزدوجة الشحنة السالبة التى تعطى سطح الزجاج والموجبة المجاورة لها مباشرة.

ومن هذه الظاهرة اقترح هلمهولتز ١٨٧٩ Helmholtz النظرية المعروفة باسمه ومن رأيه أن كلا من الغشاء الصلب والمحلول المحيط كان متعادلا كهربائيا، فإن الغشاء مع ما يحيط به من محلول له جهد كهربائى، ولذلك فقد اعتبر الغشاء محاطا بطبقة مزدوجة مكونة من سطحين كهربائيين السطح الخارجى مساو للسطح الداخلى فى مقدار الشحنة ومضاد له فى نوعها سالبة أو موجبة وأن هذا السطح يتكون من طبقة سمكها جزئ واحد.

ويرى هلمهولتز أن السطح الداخلى أو الطبقة الداخلية ملتصقة مع الغشاء ويتوقف على الخواص الكيميائية والفيزيائية لسطحه بينما الخارجية غير ثابتة وتتكون من مواد المحلول ويمكن توضيح قدرة الطبقة الخارجية على الحركة بتعريض النظام إلى قوة كهربائية فتتجه هذه الطبقة نحو القطب المضاد لنوع شحنتها، بينما الطبقة الداخلية الملتصقة بالغشاء تظل ثابتة.

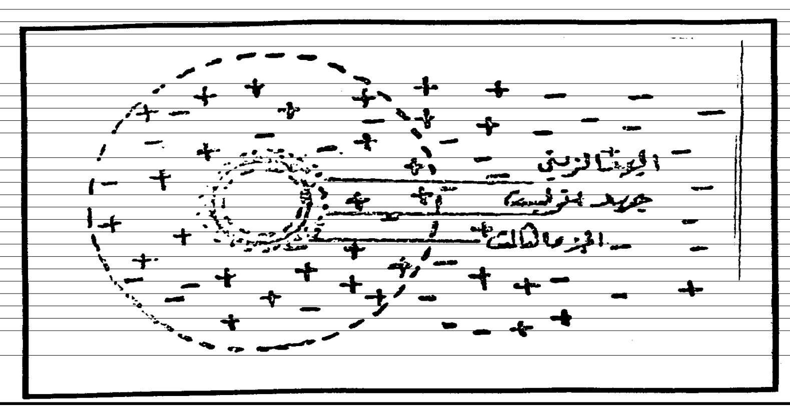
وفى ١٩١٠ أدت دراسات تشابمن Gouy و Chapman منفصلين إلى أن تركيز الكاتيونات حول سطح الحبيبة يكون أعلى فى جوار السطح ينفصل دفعة واحدة بالابتعاد عنه ثم تدريجيا فى المحلول ويختلف هذا النظام عن الصورة التى يصفها هلمهولتز وأن الأيونات المجاورة للسطح الغروى لا تصطف فى صفحة واحد سمكها جزئ واحد حول الغشاء (شكل ١).



شكل (١): رسم توضيحى للأيونات والجهد فى الطبقة المزدوجة

ويرى شترن أن الطبقة المزدوجة للسطح الغروى تتكون من قسمين الأول داخلــى يتوقف سمكه على مقدار الأيونات التى تتدمص مثل طبقة هلمهولتز أما الجزء الخارجى فيشبه الطبقة الخارجية فى نظامه الجوى ويتشابهان.

والشكل (٢) يمثل حبيبة غروية كروية ويلاحظ على السطح منطقة "منقطة" تمثل طبقة المحلول الملتصقة على سطح الحبيبة وتلتصق هذه الأيونات ووتتراكم بشدة فلا تستطيع أكثر الأيونات الأخرى بالمحلول اختراقها إلى السطح الغروى. ويطلق على السطح الخارجى لهذه الطبقة Shear plane وكل الأيونات داخل هذه الطبقة تساهم فى الشحنة الذائبة لسطح الغروى وجميع الأيونات الخارجية تكون جزءا من الجو الأيونى ion atmospliere ويوضح الرسم أيضا أنه يوجد ثلاثة مستويات من الجهد ذات أثر فى دراسة الخواص الكهربائية الحركية electro kinetic لغرويات الأرض.



شكل (٢): رسم توضيحى لحبيبة غروية فى وسط يحتوى أيونات
مبين به الجهود الثلاث للنظام الغروى

١- الجهد الكلى أو جهد نرنست Nurnest وهى فروق الجهد من سطح الغروى مباشرة حتى نقطة لا نهائية فى الوسط الغروى ويمكن تقدير هذا الجهد باستعمال الأجهزة الكهربائية وهو مقياس للتوازن بين شحنات سطح الغروى والبيئة الخارجية للنظام الغروى.

٢- الجهد الكهربائى الحركى electro kinetic ويطلق عليه جهد زيتا نسبة إلى حرف Z زيتا اليونانى الذى يرمـــز به عـــادة وهو الفرق بين جهد السطح الخارجى Shear plane وبين الجهـــد عند مســـافة لا نهـــائية فى المحلول الخارجى ولا يمكن قياسه مباشرة ولكن يمكن حسابه بتقدير سرعة حركة الغرويات فى مجال كهربائى من المعادلة الآتية :

$$\text{ز"Z"} = \frac{\text{٤ ط ل ف}}{\text{ث}}$$

حيث: ط النسبة التقريبية ، ل معامل اللزوجة.
، ف الحركة الإلكتروفيرية electrophoretic تحت جهد ١ فولت/سم.
، ث ثابت electrokinetic constant.

٣- جهد الطبقة الثابتة immovable وهو غير ثابت ولا يمكن قياسه مباشرة ولكن يمكن حسابه بأنه الفرق بين الجهد الكلي وجهد زيتا.

ويفسر التبادل الأيونى على أساس نظرية الطبقة المزدوجة لما كانت الأيونات الموجودة فى الطبقة الخارجية من الضرورى أن تنتشر خلال المحلول إذ لا يوجد حد قاطع بين الأيونات فى هذه الطبقة وبينها وبين المحلول الخارجي وقد أشرنا إلى أن تركيزات الأيونات الموجودة فى الطبقة الخارجية للغروى تتغير باســتمرار معتمدة فى ذلك على تركيز المحــلول الخــارجى وكذا على الرقــم الهيدروجينى لهذا المحلول (pH يدل على تركيز أيونات الهيدروجين) فإذا تغير تركيز المحلول الخارجي بإضافة أيون جديد فإن التوازن القديم يختل ويحصل على توازن ينتج عن أن جزءا من الأيونات الجديدة يدخل الطبقة الخارجية للغروى أخذا محل بعض الأيونات التى كانت موجودة فى هذه الطبقة، ويحدث هذا التبادل مكافئا بمكافئ طبقا لقانون التفاعل الكهربائى.

رأى Jenny

يفترض ينى Jenny أن كل كاتيون على ســطح حبــيبة الأرض يدور ascillates حول مركز الجهد الكهربائى له على هذا السطح فإذا حدث بمحض الصدفة أن مر كاتيون من المحلول بين الكاتيون على السطح ومركز الجهد الكهربائى لهذا الكاتيون المدمص فإن التبادل يتم بين هذين الكاتيونين فيصبح الكاتيون الذى كان بالمحلول مدمصا والكاتيون المدمص فى المحلول.

ويطبق ينى نظرية الاحتمالات Probability على هذا الفرض واستنتج المعادلة الآتية :

$$\frac{ن^{2} (1 - ح ل) - ن (ع + س) + ع س}{ح م} = صفر$$

حيث: ن عدد الكاتيونات التى تدمص أو تطرد من السطح عند التوازن.

ح سعة التبادل الكاتيونى. س الكاتيونات بالمحلول.

ح ل ، ح م: حجم الدوران الكلى من الكاتيونين ل ، م.

ويمكن توضيح أن هذه المعادلة تنتهى إلى معادلة تأثير الكتلة.

بالإضافة إلى هذين المصدرين للشحنة السالبة فإن الشحنة السالبة قد تنتج أيضا من حامض الدباليك أو الفوسفوريك أو الكبريتيك التى قد تكون جزءا مكملا من سطح الطين، حيث مساهمة هذا المصدر فى مد الأرض بشحنها السالبة تختلف باختلاف تركيب الطين وحجم الحبيبات ومقدار المادة العضوية وحالتها.

تفسير ظاهرة التبـــادل :

توجد عدة نظريات لتفسير هذه الظاهرة منها :

نظرية طبقات البلورة :

تعتمد هذه النظرية على الرأى القائل بأن العناصر المكونة لطبقات البلورة توجد فى حالة أيونيه فبلوره – ملح كلوريد الصوديوم مثلا لا تحتوى جزئيا "ص كل" بل أيونات ص$^{+}$ وأيونات كل$^{-}$ وكل أيون فى البلورة محاط بعدد ثابت من الأيونات المضادة في الشحنة ويتحدد هذا العدد برقم الإحاطة ويتعرض لقوى جذب حسب قانون كولومب ويترتب على ذلك أن الأيونات الموجودة على سطح البلورة تتعرض لقوى جذب أقل من القوى التى تجذب الأيونات الداخلية، وإذا وضعت هذه البلورة فى وسط قطبى polar فإن قوى جذب الأيون السطحى إلى البلورة تقل لدرجة أن أيون آخر من المحلول قد يحل محله أو قد يتحد مع أيون آخر بالمحلول.

وسهولة حلول أيون محل أيونات سطح البلورة تتوقف على عدة عوامل:

١– القوى التي تربط أيونات البلورة.
٢– درجة تركيز أيونات المحلول.
٣– تكافؤ الأيونات بالمحلول.
٤– حجم كل من الأيونين فى البللورة وفى المحلول.
٥– قدرة أيونات البلورة على التحرك.
٦– تأثيرات الإذابة.

وقد أوضحت دراسات كثير من الباحثين أن أيونات طبقات البلورة يمكن تبادلها مباشرة مع أيونات المحلول ، غير أن بعض البلورات ذات البناء الكثيف لا يحدث فيها هذا التبادل إلا بعد تفتتها إلى حبيبات دقيقة مثل الفلسبارات والميكات. وتبادل الأنيونات يحدث فى طبقات البلورة مثلما يحدث تبادل الكاتيونات.

التبادل الأيونى على جذور النباتات :

تقدير السعة التبادلية الكاتيونية والأنيونية للجذور : اقترح Bartlet الطريقة الآتية لتقدير السعة التبادلية الكاتيونية والأنيونية للجذور :

تغمر عينة الجذور فى محلول ٠,٢ أساس من كلوريد الصوديوم ثم تغسل بالماء المقطر ثم تغمر مرة أخرى فى حامض نتريك أساسى مدة دقيقة واحدة ثم ترفع الجذور ويقدر الكلوريد والصوديوم اللذان طردهما حامض النتريك وتحسب السعة التبادلية على أساس ١٠٠جم من الجذور الجافة.

ولما كان سطح الجذور مغطى بشحنات سالبة فإن الأنيونيات الموجودة فى الأرض تتنافر مع سطح الجذر كلما اقتربت منه وفى دراسة الجبلى وفيكلاندر أوضحا باستعمال راتنج rang المشبع بالكلوريد أن جذور نبات الشعير تستطيع أن تمتص مقدرا من أنيون الكلوريد المدمص على سطح الراتنج أكثر مما تمتصه من المحلول المحيط بالراتنج عند الاتزان وأن المقدار الممتص من الكلوريد المدمص على سطح الراتنج يزيد عن المقدار الممتص من محلول كلوريد الكالسيوم ذات شحنة سالبة وتحمل عليها كاتيونات ذات شحنة موجبة. وأن الراتنج ذو سطح موجب الشحنة مغطى بأنيونات الكلوريد السالبة، وعند "م" تلامس هذه السطوح يحدث تداخل فى الطبقات المزدوجة المحيطة بكل منها فيقل الجهد الكهربائى والشحنة الكهربائية فينطلق الكلوريد من سطح الراتنج والهيدروجين أو الكالسيوم من سطح الجذور ويستطيع الكلوريد أن يدخل الجذر دون مقاومة شديدة من السطح سالب الشحنة.

كانت دراسات Jenny سنة ١٩٣٩ من أولى الدراسات التى أشارت إلى أن لجذور النباتات خواص تشبه خواص الغرويات. فعندما غمر جذور نباتات الشعير الحية فى محلول يحتوى روبيديوم مشع لفترات قصيرة لاحظ تزايد مقدار الروبيديوم الذى يمتصه النبات بزيادة الروبيديوم فى المحلول وأن هذه الزيادة تصل إلى أعلاها عندما تصبح السطوح الخارجية للجذور مشبعه بالروبيديوم وهو نفس ما يحدث عند ادمصاص الكاتيون على سطح الغروى.

ثم أوضح Jenny أن الأيونات المحمولة على سطوح الجذور تتبادل تبادلا مباشرا مع الأيونات المحمولة على سطوح حبيبات الطين عندما يتلامس سطوح الجذور مع سطوح هذه الحبيبات وذلك تطبيقا لرأيه فى تبادل الأيونات بالملامسة Contact exchange دون وسط سائل.

ومن دراسات Williams and Colemam فى هذا المجال :

١- للنظام المكون من جذور النباتات والماء له خواص المعلق الغروى Suspension effect فإذا شبعت جذور النباتات بالهيدروجين ثم غسلت عدة مرات بماء مشبع بثانى أكسيد الكربون ثم غمرت فى نفس الماء به ك أ٢ فإن تركيز الهيدروجين يزداد قرب سطح الجذور ويكون رقم pH الجذور أقل من السائل المحيط بها.

٢- غمرت الجذور التى شبعت سطوحها بالهيدروجين بالطريقة السابقة فى محلول كلوريد بوتاسيوم فلوحظ أن رقم pH المحلول قد انخفض وارتفع رقم pH لسطوح الجذور مما يدل على أن البوتاسيوم قد حل محل هيدروجين الجذور وقد تم هذا أيضا فى عشرة ثوان مما يدل على أن التفاعل قد تم على السطوح الخارجية.

٣- غمرت الجذور لمدة ١٠ ثوان فى محلول كلوريد السيزيوم ٠,٠١ أساس الذى يحتوى سيزيوم ١٣٧ المشع ثم رفعت الجذور وغسلت جيدا وقسمت إلى ثلاثة أقسام :

أ- وضع القسم الأول منها فى محلول كلوريد سيزيوم غير مشع.

ب- والقسم الثانى فى محلول كا كل$_2$ ١,٠٣ أساس.

ج- قدر اشعاع السيزيوم على جذور الأقسام الثلاثة (٢٠ جذر لكل منها ١٠سم) فوجد أنها ٥,٠٥ و ٢,٢٢ و ٧٤,٨٤ عدة/ثانية على التوالى وواضح أن السيزيوم المشع قد تبادل مع السيزيوم غير المشع فى القسم الأول ومع الكلسيوم فى القسم الثانى.

اتجهــت الدراســات بعــد ذلك إلى تقدير السعة التبادلية الكاتيونية لجذور النــباتات واتــبع فــى ذلك طريقة مشابهة لبعض طرق السعة التبادلية الكاتيوني للأراضى.

اقترح Graham & Baker أن تشبع سطح الجذور بالهيدروجين باستعمال الانحلال الكهربائى electro dialysis مدة ٣ ساعات ثم يعامل بمحلول كا ك أ$_2$) يعبر عن السعة التبادلية الكاتيونية للجذور بالمليمكافئ/١٠٠جم من الجذور.

واقترح Smith & Wallace أن يعبر عن السعة التبادلية الكاتيونية للجذور بالمليمكافئ لكل ١سم^2 من سطح الجذور وعبر عن ذلك كثافة الشحنة.

وأوضحت تقديرات Graham & Baker أن السعة التبادلية لجذور الشعير والشوفان والقمح وفول الصويا تتغير حسب العوامل الآتية :

أ- عمر النبات.

ب- العناصر المغذية المستعملة فترة النمو.

ج- نوع النبات.

د- درجة الحرارة التى نما فيها النبات.

وأشار Colbey أن الســعة التبادلية الكاتيونية لا تختلف للجــذور الحية أو التى عوملت بالاثيلين لقتلها.

وقد لوحظ أن جذور نباتات ذات الفلقتين لها سعة تبادلية كاتيونية أعلى من جذور نباتات ذات الفلقة الواحدة.

كما أن للكاتيونات قدرات مختلفة على الحلول محل بعضها على سطوح النبات ووجد وليامز وكولمان أن قدره الكاتيونات النسبية على الحلول محل بعضها على سطوح الجذر لا يختلف عنها فى الغرويات. فالهيدروجين أقواها ثم الباريوم ثم الكالســيوم ثم المغنيســيوم والسيزيوم ثم الروبيديوم والألومنيوم ثم التونيوم.

ومن دراسات وليامز وكولمان وغيرهما لوحظ أن الجزء الفعال فى تبادل الكاتيونات من الجــذور هو ١ – ٢مم من قمة الجــذور النامية وكذا الشعيرات الجذرية.

السعة التبادلية الكاتيونية لجذور بعض النباتات :

جدول (١٢): السعة التبادلية الكاتيونية لجذور بعض النباتات

النباتات	السعة التبادلية الكاتيونية ملليمكافئ/١٠٠جم جذر جاف
أ- نباتات ذات فلقتين:	
فول الصويا	٥٨,٩
البرسيم الحجازى	٤٨,٠٠
البطاطس الايرلندى	٣٧,٠٠
الطماطم	٣٤,٠
ب- نباتات ذات فلقة واحد:	
الذرة الصفراء	٢٦,٠
الذرة السكرية	٢٢,٢
الشعير	١٢,٣
القمح	٩,٠

عن : Drake *et al.* 1951

ومن كثير من الدراسات لوحظ أن جذور نباتات ذات الفلقتين لها سعة تبادلية كاتيونية أعلى من جــذور نباتات الفلقة الواحدة كما أن للكاتيونات قدرات

مختلفة على الحلول محل بعضها على السطوح الغروية فقد وجد ويليامز وكولمان أن قدرة الكاتيونات النسبية على الحلول محل بعضها على سطوح الجذور لا تختلف عنها فى الغرويات فالهيدروجين اقواها ثم الباريوم ثم الكلسيوم ثم المغنيسيوم ثم السيزيوم ثم الروبيديوم ثم الأمونيوم ثم البوتاسيوم ثم الليثيوم.

ويقترح بارتلت Bartlet طريقة لتقدير السعة التبادلية الكاتيونية كما يلى:

يغمر عدد من الجذور فى محلول ص كل ٠,٢ أساس ثم تغسل بالماء المقطر ثم تغمر ثانية فى حامض نتريك أساس دقيقة واحدة ثم ترفع الجذور ويقدر الكلوريد والصوديوم اللذان طردهما حامض النتريك وتحسب السعة التبادلية على أساس ١٠٠جم من الجذور الجافة.

التعبير الرياضى عن التبادل الأيونى :

بذلت عدة محاولات منذ وقت طويل للتعبير رياضيا عن التبادل الأيونى خصوصا فى حالة الكاتيونات وازدادت الرغبة عندما اتضح أن لهذا التفاعل آلية أساسية فى تغذية النبات.

واختلف الأساس النظرى لهذه المعادلات :

أ- معادلات تعبر عن التأثير السطحى Surface action (فيزيائية).

ب- معادلات كيميائية مثل قانون تأثير الكتلة Law of mass action.

ج- معادلات باستعمال نظرية الحركيات Kinetic theory.

د- فروض رياضية مستقلة تنتج عنها معادلات خاصة.

معادلة فرندليخ Freundlich :

ص = م س^ب/١

حيـث "ص" مقدار الكاتيونات المدمصة من المحلول عند الاتزان مع كمية معينة من الأرض و " س" مقدار الكاتيونات المتبقية فى المحلول المضاف و "م" و "ن" ثوابت.

ويلاحظ أن معادلة فرندليخ لا تعطى نهاية عظمى للادمصاص وبذا فهى لا تناسب التركيزات المختلفة اختلافا كبيرا.

معادلة لانجموير Langmuir :

اقترح لانجموير هذه المعادلة لتمثل امتصاص الغازات على سطح صلب على اعتبار أن سمك الطبقة الغازية الممصة جزىء واحد.

$$\frac{س}{ك/ص} = \frac{١}{م} + \frac{ن}{م} س$$

حيث "س" التركيز النهائى لأيون ، المحلول "ص" مقدار الأيون الممص و "ك" وزن الجسم الماص و "م" و "ن" ثوابت.

معادلة كير Kerr :

يعبر عادة عن تبادل الأيونات ذات التكافؤ المتساوى بالمعادلة الآتية :

$$بو\ ك + ص^{+} = ص\ ك + بو^{+}$$

حيث "ك" تمثل الجسم الماص ويمكن كتابة هذه العادلة كالآتى :

$$\frac{[ص\ x\ ]\ [بو^{+}]}{[بو\ x]\ [ص^{+}]} = ثابت$$

وهى معادلة تأثير الكتلة المعروفة فى الكيمياء.

وفى حالة كاتيونات ثنائية التكافؤ مع أخرى أحادية التكافؤ مع أخرى أحادية التكافوء تكون المعادلة:

$$بو_{٢} + كا\ x_{٢} \leftrightarrow ٢\ بو\ x + كا^{++}$$

وتكون معادلة كير :

$$\frac{[بو\ x\ ]^{٢}\ [كا^{++}]}{[كا\ x_{٢}]\ [بو]^{٢}} = ثابت$$

وقد قام فانزلو Vanslaw بإدخال بعض التعديل على هذه المعادلة باستعمال النسبة الجزيئية بدلا من التركيزات مباشرة .



معادلة جابـــون Gapon :

استنتج جابون هذه المعادلة باستخدام نظرية الحركيات Kinetic theory وتظهر المعادلة كما يلى :

$$\frac{(\text{كا}^{++})^{١/٢}\ (\text{ص ك})}{(\text{ص}^{+})\ (\text{السعة التبادلية الكاتيونية} - \text{ص ك})} = \text{ثابت م}$$

ويعبر عن الكاتيونات بالملليمكافئ.

واستخدم معمل بحوث الأراضى الملحية والقلوية الأمريكى المعادلة الآتية بعد تعديل بسيط لاستنتاج النسبة المئوية للصوديوم المتبادل فى الأرض من معرفة التركيب الكاتيونى لمستخلص الأرض .

$$\frac{(\text{كا}^{++})^{١/٢}\ (\text{ص ك})}{(\text{ص}^{+})\ (\text{السعة التبادلية الكاتيونية} - \text{ص ك})} = \text{م}$$

$$\frac{(\text{ص}^{+})}{(\text{كا}^{++})} = \text{م}\ \frac{\text{م ص ك}}{\text{السعة التبادلية الكاتيونية} - \text{ص ك}}$$

وفـــى حالـــة وجـــود مغنيسيوم مع الكالسيوم يجمع مقدارهما فى المحلول بالملليمكافئ/لتر وتتحول المعادلة إلى:

$$\frac{\text{ص} \ / \ \text{كا} + \text{مغ}}{٢} = \frac{\text{م ص ك}}{(\text{السعة التبادلية الكاتيونية} - \text{ص ك})}$$

ويقسم مقدار (كا + مغ) المحلول على ٢ لأنهما محسوبان بالملليمكافئ متبادل ويطلق على الطرف الأيمن فى هذه المعادلة نسبة ادمصاص الصوديوم (ن أ ص) Sodium adsorption ratio (SAR) .

وبإجراء بعض التعديل تنتج العلاقة بين النسبة المئوية للصوديوم المتبادلة (ESP) ونسبة ادمصاص الصوديوم SAR وفى حالة استعمال مستخلص الأرض عند درجة التشبع وتصبح معادلة معمل بحوث الأراضى الملحية الأمريكى المعادلة الآتية :

النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ن ص م) (ESP) =

١٠٠ (-٠,٠١٢٦ + ٠,٠١٤٧٥ ن أ ص)
----
١ + (-٠,٠١٢٦ + ٠,٠١٤٧٥ ن أ ص)

وأوضح الكاتب أنه فى الأراضى المصرية كانت النسبة (ن م ص) المئوية للصوديوم المتبادل ESP =

١٠٠ (٠,٠٠٨٦٨ + ٠,٠٠٧٩٢ ن أ ص)

(٠,٠٠٨٦٨ + ٠,٠٠٧٩٢ ن أ ص)

معادلـــة ينى Jeny :

وضحنا هذه المعادلة فى موقع آخر من هذه الصفحات.

عوامل ذات أثر فى التبادل الأيونى :

درست هذه العوامل فى حالة الكاتيونات بصفة خاصة ويمكن تلخيصها فيما يلى:

أ- نوع الكاتيون :

تستطيع بعض الكاتيونات أن تطرد كاتيونات أخرى من موقعها على سطح الطين وتأخذ هى محلها.

فى حالة الكاتيونات ذات التكافؤ المتساوى مثل الصوديوم والبوتاسيوم أو الكالسيوم والمغنيسيوم.

اقترح أولا أن قطر الكاتيون هو العامل الرئيسى. فكلما قل القطر كلما زادت القوة التى يرتبط بها الكاتيون مع سطح الطين طبقا لقانون كولومب :

$$F = \frac{(la)(lc)}{D\,(ra + rc)}$$

حيث: F هى القوة التى يرتبط بها الكاتيون مع سطح الطين و la هى الشحنة الكهربية للأنيون و "D" ثابت الفصل الكهرباء Dialectric Canstant.

غير أنه لوحظ أن أغلب الحالات يتم التبادل فى وسط مائى وأن الكاتيونات فى هذا الوسط تحيط نفسها بطبقة من الماء تلتصق بها وتكون معها وحدة واحدة وبذا يصبح الكاتيون ذا نصف القطر المتميئ hydrated radius الأصغر يكون أقدر على طرد الكاتيون ذى نصف القطر المتميئ الأكبر.

وأوضح Wiegner & Jeny أن مقدار أيونات الكالسيوم التى حلت محل كلا من الصوديوم والبوتاسيوم والسيزيوم على صورة كلوريدات قد زادت بزيادة الكحول الذى يؤدى إلى تقليل الغشاء المائى المحيط بالأيونات وبذا تزداد قدرتها على الارتباط بالطين ويمكنها أن تحل محل كمية من الكالسيوم. وقد لوحظ أن قوة التبادل لكل من الصوديوم والسيزيوم فى حالة محلول كحول متقارب ٨٠%، بينما كانت مختلفة كل الاختلاف فى حالة المحلول المائى العادى.

ويطلق فيكلاندر Wiklander على نصف القطر فى حالة التميؤ (التأدرت) electro dynamic radius ويرى Ulrich أنه يوجد نوعان من التميوء، فيزيائى وكيميائى.

التميوء الفيزيائـــى :

يكون جزئ يدء أ فيه أقل التصاقا بالأيون وينفصل عادة بالحرارة الناشئة عن الحركة الحرارية للجزئ.

التميوء الكيميائـــى :

ترتبط جزئيات الماء فى هذه الحالة بالأيون ارتباطا وثيقا يجعلها تعمل مع الأيون إلا فى حالة خاصة.

ورقم التميوء Hydration Number هو عدد جزيئات الماء التى ترتبط كيميائيا مع الأيون.

ب- فى حالة الكاتيونات ذات التكافؤ المختلف :

من نفس قانون كولومب المشار إليه سابقا يتضح أن الارتباط بين الكاتيون وحبيبة الطين يزيد بزيادة الشحنة الكهربائية. فالكاتيونات الثنائية التكافوء شحنتها أعلى من أحادية التكافوء ولذا فهي أقوى ارتباطا بسطح الغروى وكلما زاد تكافوء الكاتيون كلما زادت قدرته على الحلول على سطح الطين محل الكاتيونات الأقل تكافوءا.

وترتب الكاتيونات حسب قدرتها على الحلول محل بعضها على سطوح الطين كما يلى :

الباريوم > الكالسيوم > المغنيسيوم > البوتاسيوم = الألومنيوم > الصوديوم > الليثيوم ، ويطلق على هذا الترتيب ليوتروبيك Lyotropic Series.

واتضح من دراسات براى ودراساتنا أنه إذا نسبت قدرة الكاتيون على الانفصال من سطح الطين إلى الكالسيوم باعتبار قدرته على الانفصال عن سطح الطين "١" فإن انفصال المغنيسيوم ١,٢ قدرة الكالسيوم والبوتاسيوم ١,٨ والألومنيوم ٢,٢ والصوديوم ٥,٤ ونوجه النظر إلى أن الهيدروجين له قدرة خاصة على الحلول محل أغلب الكاتيونات الثنائية أو الأحادية.

جـ- تركيز الكاتيونات بالمحلول :

١- عند تثبيت حجم المحلول وزيادة تركيز الصوديوم فيه تزيد قدرته على الحلول محل الكالسيوم نسبيا.

٢- مقدار الكاتيون المطرود من سطح الطين لا يتناسب طرديا مع تركيز المحلول المستعمل فقد وجد جيدرويزا Gedroiz أنه باستعمال محلول ٠,٠٥ أساس من $NH_4 Cl$ وكان مجموع $Ca + Mg$ المستبدلين ١٢,٧ ملليمكافئ/١٠٠جم أرض وفى حالة محلول ٠,١ أساس كان مجموع $Ca^{++} + Mg^{++}$ المستبدلين ٢٠,٠ ملليمكافئ/١٠٠جم أرض فمضاعفة التركيز أعطت زيادة حوالى ٦٠% فقط فى عملية التبادل.

٣- باستعمال مقدار ثابت من الكاتيون بالمحلول مع تغيير التركيز أوضحت النتائج أنه كلما زاد تركيز المحلول كلما زاد التبادل رغم أن كمية الكاتيونات المشتركة فى التفاعل لم تتغير.

٤- تتدخل عوامل أخرى عند دراسة التركيز منها الانحلال المائى والتغير فى الفاعلية Activity وزيادة التركيز.

تأثيـــر الحـــرارة :

لم يتضح أثر هذا العامل جيدا بعد، وقد أشار Kelly و Hissink, Broun أن عملية التبادل يحسن أن تتم على درجة ٧٠ف باعتبار أن الحرارة تنشط التفاعل ولكن من ناحية أخرى تؤدى زيادة الحرارة إلى ذوبان مركبات أخرى مما يزيد فى أخطاء التقديرات.

أثر مـــادة التبـــادل :

يتأثر تفاعل التبادل إلى حد كبير بالمادة التى تلتصق بها الأيونات وأهم العوامل فى هذه الحالة ما يأتى :

١- سعة التبادل للغرويات الأرضية. ومن المعروف أن لكل نوع من هذه الغرويات قدرة على ادمصاص الكاتيونات.

٢- درجة انتظام الشحنة على سطوح الأنواع المختلفة من الطين.

٣- موافقة حجم الأيون لموقع الادمصاص. فإذا صادف أن حجم الأيون يلائم هذا الموقع فإن ارتباطه بالسطح يكون أقوى من الأيون الذى له حجم أكبر أو أقل من حجم الموقع مما يجعله غير مستقر وخير مثال لذلك قطر أيون البوتاسيوم غير المتميئ nohydroted أو الأمونيوم وهو ٢,٧جم يجعلهما يلائمان الفجواه السداسية الناتجة عن طبقة الأوكسجين فى الطين وينتج عن ذلك ارتباط الأيونات بقوة مع الطين.

٤- تستطيع المواد العضوية ربط الكاتيونات بقوى مختلفة خصوصا تقييدها Chelating كما يحدث عادة للنحاس.

٥- تغطية مواقع التبادل بواسطة الكاتيونات الكبيرة الحجم فمثل هذه الكاتيونات لا يستطيع الدخول بين صفحات معدن الطين وتغطى جزء كبيرا من سطحه فتمنع ادمصاص كاتيونات أخرى على مواقع التبادل التى غطتها وبذا تقل السعة التبادلية الكاتيونية للغروى.

الإنتشـــــار

فهم الباحثون فى تغذية النبات أن المغذيات توجد فى صورة أيونية مدمصة على السطوح الغروية (الطين المادة العضوية) أو فى صورة رواسب.

وظل أمامهم أن يفهموا كيف تنتقل هذه المغذيات من سطوح الطين إلى سطوح الجذور فلم يمض غير وقت قصير حتى كانت نظرية انتشار الأيونات فى المحلول الأرضى متجهة إلى سطوح الجذور تجيب على هذا التساؤل.

وانتشار الأيونات يشبه انتشار الحرارة وانتشار الماء من موقع تكون فيه الحرارة مرتفعة أو يكون الماء فيه مركزا فى منطقة بالأرض إلى موقع يقل فيه تركيز الحرارة أو يقل فيه الماء فالانتشار هو الانتقال من التركيز العالى إلى التركيز المنخفض.

واستخدم Crank (١٩٦٥) المعادلة الآتية لحساب معامل انتشار الزنك ٦٥

$$Mt = 2\,(C_0 - C_L)\,(D_e\,{}^{t}/_{T})r_2$$

حيث "M_t" جميع الزنك ٦٥ الذى ينتشر فى ورق تبادل الرتنج فى الوقت "t" و C_0 التركيز الأصلى المنتظم من الزنك ٦٥ فى الأرض و C_L تركيز الزنك ٦٥ عند سطح التماس بين ورق التبادل والأرض للنظام الأرضى.

وأوضح فيدياناثان وناى (١٩٦٦) أنه فى الوقت القصير "t" يمكن افتراض أنه صفر وبالتالى تكون المعادلة :

$$D_e = (M^z{}_t\,\pi/4\,C_0{}^2\,t)$$

بفرض أن أغلب الزنك ينتشر خلال القسم السائل و D_e يجب أن تساوى معدل انتشار الزنك فى الماء مضروبا فى معامل الانتقال ومعامل الانتقال يمكن قسمته إلى مكونين المســـار الطبيعى والكيميائى، والمســـار الحلزونى F_1 يعكس المكون الفيزيائى، والمكون الكيميائى σ يأخذ فى الاعتبار الاتزان بين القسم الصلب والقسم السائل $\Delta C_L/\Delta\ C_s$ والتفاعل مع غرويات الأرض γ ويكون كالتالى :

$$De_{(zn)} = D_{zn} F_1 (\Delta C_L/\Delta C) + R = D_{zn} F_L Ó + R$$

حيث R تأخذ فى الاعتبار الانتشار غير الذى يحدث خلال القسم السائل.

ويرى Porter أن قانون Fiks الثانى لحالة الانتشار فى حالة ثبات القسم السائل يكون :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \Delta DpA \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

حيث ΔQ فى دراسة Porter كانت مقدار ^{32}P المنتشر فى الأرض فى المحلول (عدة/دقيقة فى ١ سم٣) ، و t هى الوقت بالثوانى و D هى (معامل الإنتشار) و Δ C الفرق فى نشاط ^{32}P فى كل جانب (عدة/دقيقة/١ سم٣).

و A هى مساحة المقطع الذى يحدث الإنتشارعبره .

و x هى المسافة التى فى إتجاه حركة الأيونات .

وحيث يقدر الانتشار الذاتى فى نظام مسامى وليس فى الماء والتفاعل بين الأيونات المنتشرة فى النظام والأيونات المرتبطة مع جزيئات المعدن المشحونة تعمل على خفض الانتشار فتنخفض أيضا لزوجة الماء فى جوار سطوح المعدن والتى تقلل الانتشار.

حيث Q مقدار بالجرام و "T" الوقت بالثانية و D هى الانتشارية أو معامل الانتشار Cm^2/S_{ec}^{-1} و A هى مساحة المقطع الذى يحدث فيه التدفق Cm^2 و C هو التركيز ($g.Cm^{-3}$) و X هى مسافة حرك الأيونات بالسنتيمتر.

ولزوجة الماء أيضا تقل فى جوار السطح والملاصق لسطح المعدن التى تقلل الانتشار وبأخذ هذه العوامل فى الاعتبار نصل إلى المعادلة المستخدمة فى القنوات المسامية.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = DA\,\lambda \left(L/L_e \right)^2 Q \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

حيث Q = محتوى الرطوبة حجميا (L/L_e) معامل ناتج من الحلزونية واتجاه المسارات. و"t" الوقت بالثانية و "D" معامل الانتشار و "A" مساحة المقطع حيث يكون الانتشار بينهما.

وفى حالة تقدير معامل الانتشار الذاتى Self dif. Coaef فى نظام مسامى وليس فى الماء فإن التفاعل بين الأيونات المنتشرة فى النظام والأيونات المرتبطة بجزيئات المعدن المشحونة تعمل لتقليل الانتشار.

و γ هو المعامل الذى يأخذ فى الاعتبار التفاعل الأيونى والزيادة فى لزوجة الماء فى النظام المسامى وتكتب المعادلة السابقة كالآتى :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = D\gamma\,(L/L_e)^2\,\frac{\Delta C}{\Delta x}$$

ويمكن تبسيط هذه المعادلة إلى :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = D_p A\,\frac{\Delta C}{\Delta x}$$

حيث ΔQ فى معادلة Porter هى مقدار ^{32}P الذى انتشر خلال الأرض فى المحلول (عدة/دقيقة لكل ١سم٣) و ΔC هى الفرق بنشاط ^{32}P بين كل جانب عدات/دقيقة/سم٣ و $\propto$ معامل الزوجة السلبى. و γ معامل الادمصاص السلبى .

والنظام الانتقالى الذى يتبع المعادلة التى اقترحها اولسن وزملاؤه (١٩٦٠).

$$\partial C / \partial t = \frac{Dp}{b+B}\,\frac{\partial^2 C}{\partial \times 2}\,\frac{Dp}{b+B}\,\frac{\partial^2}{\partial x}$$

واستخدم Porter تكامل معادلة مشابهة يمكنها أن تقدر "D_p" فى حالة تجربة انتقالية :

$$\frac{D_p}{b+Q} = \frac{\pi}{t}\,(q/q_0)^2 L^e$$

حيث q_0 الكمية الكلية التى انتشرت / وحدة أرض و q الكمية الأصلية للأيون القابل للانتشار.

ولاختيار طبيعة "b" معامل السعة Capacity factor عرفا $^S/_C$ حيث S الطور الصلب من الفوسفور الميسور g/Cm^3 (Stable P) أرض) و C تركيز P فى المحلول الأرضى وبالتالى يكون $Q\,C + S = A_a$ حيث C_a جميع الفوسـفور

الميسور فى الأرض (g/سم٣ أرض) و $C_a = (b + Q)_C$ وفى توقيع C_a مع C

فى رسم بيانى فى حالة خط مستقيم يكون الميل = b + Q.

حيث D_p , t و Q و X سبق ذكرها و b معامل السعة Capacity factor

و C تركيز الفوسفور P فى المحلول الأرضى (g/Cm^P).

وفى هذه المعادلة "b" و "D_p" نفترض أنهما ثابتين ومستقلين عن "C" و t و X.

ويدخل معامل السعة فى هذه المعادلة لوجود كمية كبيرة من الفوسفور فى الصورة labile الذى منحه مباشرة إلى المحلول عندما ينخفض تركيز الفوسفور بالانتشار.

ويرى بورتر وزملاؤه (١٩٦٠) شكلا تكامليا للمعادلة مشابها للمعادلة التى يمكن استخدامها لتباشر D_p فى حالة الانتقال.

$$\frac{D_p}{b+\theta} = \frac{\pi}{t} (q / q_0)^2 L^2$$

حيث q_0 هو المقدار الكلى الذى ينتشر لكل وحدة من الأرض

و q هى الكمية الابتدائية من الأيون القابل للانتشار لكل وحدة أرض

و L سمك الأرض الذى يحدث فيه الانتشار النهائى.

وبفحص طبيعة "b" وهو معامل السعة فإنهم عرفوا b = S/C حيث S هى الجزء الصلب من الفوسفور اللابايل PCg/ cm^3 Soil Labile و C_a هى تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى ويكون $C_a = S + \theta C$ حيث C_a جميع الفوسفور المتاح فى الأرض (g/Cm^3 Soil) و $C_a = (b + \theta)$ فى حالة توقيع C_a مع C فى علاقة مستقيمة يكون الميل هنا ($b + \theta$) وبالتعبير عن b كدالة "C") ويكون "b" تقريبا مستقلة عن C فإن b أقل من ١ وتكون θ أكثر مغزوية من ويكون المثل معتمدا على قيمة θ أيضا.

واستنتج فيلبس وبراون المعادلة الآتية :

$$D = Q\, h^2\, F^2/t$$

حيث D هى الانتشار الذاتى الظاهرى و h هى المنطقة $Q > h$ فى وقت "t" وتكون F هى النسبة $Q_1/(Q_1 + Q_2)$ حيث Q_1 هى الكمية التى انتشرت من المنطقة $h > x \circ > h-$ قاطعة الحدود حيث $Q = x$ فى الوقت t و Q_2 هى الكمية الكلية من الأيونات الباقية بعد الوقت t .

وقد استخدمت المعادلة السابقة لحساب معامل الانتشار الظاهرى المقابل وقام ماهتاب وزملاؤه بحساب معامل الانتشار الذاتى من شكل مبسط اقترحه كلوث و لتى Letey التى اقترحها سكوفيلد.

واستخدم ماهتاب وزملاؤه (١٩٧١) معامل الانتشار الذاتى من معادلة مبسطة لكلوث و لتى Klute & letey.

$$Q/Q\propto = {}^2/_L \frac{(DT)^2}{\pi}$$

حيث Q هى كمية ^{32}P التى انتشرت من أرض مرقمة Tagged إلى الأرض غير المرقمة فى وقت T و $Q\propto$ تعادل نصف الكمية الأصلية من ^{32}P فى الأرض المرقمة و "L" هى طول الأرض فى كل خلية حدث فيها الانتشار.

العوامل التى تؤثر على انتشار الأيونات فى الأراضى :

١- تأثير الرطوبة

أوضح Place وزملاؤه (١٩٦٤) أن التغيرات فى رطوبة الأرض قد أثرت على معدل الانتشار ومعدل امتداد الجذور وظهور الشعيرات الجذرية.

والانتشار الذاتى للروبيديوم المشع ^{86}Rb مرتبط ارتباطا مستقيما موجبا مع رطوبة الأرض وتفاعل هذين العاملين. $(R^2 = 0.89)$

وانتهوا إلى أن تأثير الرطوبة على معدل الانتشار كان قويا وأن امتصاص النبات للروبيديوم ٨٦ المتزايد مع زيادة الرطوبة قد اعتبر راجعا للأغشية المائية التى يتزايد سمكها الذى يزيد مساحة القطاع الذى يحدث فيه الانتشار. وانخفاض اللولبية يقلل التأثيرات الالكترونية على الأيونات فى المحلول.

وأوضح ماهتاب Mahtab *et al.* (1971) أن معامل الانتشار الذاتى للفوسفور قد زاد من ١٠,٢٥ × ١٠^-١٠ إلى ٢٧ × ١٠^-١٠ سم^٢/ثانية بزيادة محتوى الماء من ٣٥% إلى ١٠٠% من الماء الميسور وقد توافقت النتائج مع نتائج أولسن وزملاؤه وطبقا لأولسن وزملاؤه (١٩٦٥) تتناقص الرطوبة الأرضية فإن مساحة المقطع العرضى الصالحة للانتشار تتناقص وعلى الأيونات أن تقطع مسافة أطول حتى تصل إلى نقطة معنية.

ومن العوامل المؤثرة أيضا اللزوجة والادمصاص السلبى تصبح أيضا هامة بانخفاض محتوى الأرض من الرطوبة.

وتوضح القيم أن انخفاض الرطوبة الميسورة فى أرض طينية له تأثير أقل كثيرا على معامل الانتشار من تأثيره فى أرض خشنة نوعا ويرجع ذلك لحقيقة أن الأرض الطينية تحتوى على ماء ذى جذب مائى قدره ١٥ جو كاف ليحتفظ بمعدل مناســب للانتشـــار Waranck وباربر (١٩٧٢) أوضــحا أنه عند نسبة رطوبة ١٣% تكون أرقام $D_{e(zn)}$ بين ١٠^-١١ إلى ١٠^-٨ سم^٢/ثانية. مع اتجاه لضيق المدى قــرب الأرض نحو التشــبع وتأثير زيادة الرطوبة على معامل انتشـــار الزنك De (zn) قد يمكن تفسيرها بتأثيرها على الحلزونية tortuosity وعلى تركيز الزنك فى المحلول. فعندما يظل الزنك فى المحلول ثابتا بثبات مستوى الماء وبزيادة هذا المسوى تتحول العلاقة بين $D_{e(Zn)}$ وحجم الرطوبة الأرضية Hyperlolic إلى علاقة منحنية.

وأوضح أولسن وزملاؤه (١٩٦٥) أن قيم معامل انتشار D_p فى أرض Apischapa clay loam قد تراوحت من ٠,٤×١٠^-٧ إلى ١٥,٥×١٠^-٧ سم^٢/ثانية بزيادة حجم الرطوبة من ٠,٢٢ إلى ٠,٥٥ ^-٧ أو بنقص شد الماء من ٦ إلى ٠,١ جو.

أوضح Shausidon (١٩٦٥) أنه عندما تدرس آلية الحركة الكاتيونية فإن جميع التساؤلات التى قد تتبع من حالة الماء المدمص.

ويحدد الماء الشغل الكهربائى اللازم لإبعاد كاتيون من قرب طبقة أوكسجين نتيجة ثابت الفص الكهربائى dielectric constant فهو الذى يحدد مسار ماء الانتشار ويحدد خواص الكاتيون نفسه بالنسبة لعملية الحركة فإذا فرض فى حالة من حالات المحلول أن الهدرته Hydration عامل حاكم فى الانتشار وأوضح جراهام وبراير (١٩٦٥) أن محتوى الرطوبة له تأثير هام على معامل إنتشار الروبيديوم ومن المحتمل أن يكون العامل الأكثر تأثيرا على الانتشار فى الحقل والذى قد يكون لولبيا بتأثر الطين. وفى حالة محتوى رطوبة منخفض تكون الأيونات شديدة الحلزونية لأن مجموعات الطين فقط هى التى قد تحتوى ماء .

٢ – تأثير معامل الإضافة

أوضح Place وزملاؤه أن الانتشار الذاتى للروبيديوم المشع ٨٦ كان مرتبطا ارتباطا بخط مستقيم R^2 = ٠,٨٩ مع الرطوبة الأرضية.

وكان تركيز Rb وتفاعلاته مع هذين المعاملين فإن زيادة الانتشار مع زيادة تركيز الروبيديوم يعتقد انه يرجع إلى أن ^{86}R قد أصبح ارتباطه أقل قوة مع زيادة تركيز الروبيديوم بالأرض وبذا يعتقد أن الروبيديوم زائدة فى المحلول الأرضى مع زيادة تركيز Rb فى الأرض بزيادة الروبيديوم فيها فبزيادة Rb الموجود فى المحلول.

وأوضح ماهتاب وزملاؤه (١٩٧١) أن قيم "D" قد زادت مع زيادة المضاف من P إلى جميع الأرض.

وكان معدل الانتشار محكوما بمقدار الفوسفور فى المحلول ومعدل انطلاق الفوسفور الصلب فى المحلول.

وأوضح لويس وكويرك ١٩٦٥ أن معامل الانتشار الذاتى للفوسفور قد زاد من ٠,١ × ١٠^{-٤} سم^٢/يوم إلى ٣,٤ × ١٠^{-٤} سم^٢/يوم بزيادة إضافة الفوسفور من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ ميكرو جرام p/١جم أرض PMg/جم أرض على التوالى فى أرض Seddon.

وأوضح Philipps وزملاؤه أن الانتشار الذاتى للفوسفور المشع ^{32}P المقدر فى طين كاؤلينيت وفى طين مونتموريللونايت وفى الأرض وكان الفوسفور فى صورة سوبر فوسفات أضيف إلى كل حالة بمعدل ١٠ و٢٠ و ٤٠ و ٨٠ و أو ١٠٠ و ٣٢٠ جزء/مليون كانت معامــلات الانتشـــار الذاتى ومعدلات إضـــافة الفوسفور مرتبطة إيجابيا بخط مستقيم.

٣- تأثير العوامل الرابطة Complexing agents

أوضح هودجــوت أن حركة كاتيونات كثيرة فى الأرض يمكن أن تتأثر بتواجد المادة العضوية الطبيعية أو الصناعية القادرة على تكوين معقدات معدنية أعراض نقص الزنك كانت واضحة فى الأرض الجيرية أكثر وكان تركيز الزنك فى المحلول بصفة عامة أقل من ٢ جزء/بليون ونادرا ما كان نحو ٧٥% من الزنك الكلى معقدا وبذا فالتعقيد زاد الزنك الكلى فى المحلول ٤ مرات أو أقل.

وأوضح الجوهرى وزملاؤه (١٩٧٠) أن معدل الانتشار الظاهرى للزنك فى الأرض قد زاد من ٠,٣٦ × $١٠^{-٩}$ سم^{٢}/ثانية إلى ٣ × $١٠^{-٩}$ سم^{٢}/ثانية بإضافة ١,٥٣ × $١٠^{-٨}$ جزء ومن EDTA لكل جرام من الأرض وإلى ٩ × $١٠^{-٩}$ سم^{٢}/ثانية بإضافة ١,٥٣ × $١٠^{-٨}$ من الزنك EDTA جزء من الأرض بمتوسط ١,٨١ × $١٠^{-٧}$ سم^{٢}/ثانية.

ومعامل انتشار الزنك فى الأرض كان يمثل النبات عند مستويات EDTA متوسطها ١,٨١ × $١٠^{-٧}$ سم^{٢}/ثانية.

وبإضافة EDTA 17 لأراضى زادت انتشار الزنك وهذه الزيادة فسرت بتحول الصورة الصلبة من زنك الأرض إلى زنك ذائب مرتبط بـــ EDTA وبذا زاد التركيز أو الانتشار الكلى للزنك.

وقد أوضحوا باستخدام EDTA و HCL وحامض ستريك وأحماض أمينية وجلوكوز أن إضافة EATA كانت الزيادة أعلى من الإضافات الأخرى وقد زاد انتشـــار الزنك ومررت هذه الزيادة على مخــلوط حامض والجلوكوز فوجـــد أن

EDTA تسبب فى أعلى زيادة فى الانتشار وأدت فاعلية العوامل الأخرى إلى خفض فى المستوى السابق المشار إليه.

وأوضح بيرلى وفيليب Peasrelee & Philipe أنه حتى تركيز ٥,٢ جزىء من صبغة الجيلاتين لكل ١٠٠جم من الطين يضاف إلى ١٠٠جم طين قبل إضافة الفوسفور زادت معاملات الانتشار فى خط مستقيم. وكان تأثير الصبغة أقل نوعا عندما أضيفت بعد إضافة الفوسفور ولما كان الجلاتين يعتبر صبغة معقدة فإنهم قد استنتجوا نتائجهم على أساس أن الصبغة قد تفاعلت بكاتيون مع الألومنيوم النشط فتتحول الحالة الصلبة من زنك الأرض إلى زنك ذائب نتيجة استخدام EDTA وبالتالى زاد التركيز للزنك القابل للانتشار بكاتيون مع الألومنيوم النشط كما أنها أيضا قد تؤثر على ادمصاص P وتحل محل الأيون المدمص على السطح فى الطين وهى تستطيع أيضا التفاعل باستبدال الأنيون بالفوسفور على السطح.

٤- تأثيــر الحــرارة

من نتائج جراهام و برايس (١٩٦٥) يتضح أن معامل انتشار الروبيديوم قد زاد من ٠,٢ × ١٠$^{-٨}$ إلى ١,٨ × ١٠$^{-٨}$ سم^{٢}/ثانية بارتفاع الحرارة من ٣,٥^{o}م إلى ٢٠,٠^{o}م وأوضح مورمان Murman وزملاؤه (١٩٦٨) أن قيمة معامل الانتشار الذاتى الظاهرى فى البنتونايت قد انخفضت سريعا من ٨,٨ × ١٠$^{-٧}$ سم^{٢} /ثانية عند درجة حرارة – ٠,٦ إلى ٤,٣ × ١٠$^{-٧}$ سم^{٢}/ثانية عند – ٣^{o}م لكنها انخفضت بسرعة من ٨,٨ × ١٠$^{-٧}$ سم^{٢}/ثانية فى درجة حرارة ٠,٦^{o}م إلى ٤,٣ × ١٠$^{-٧}$ سم^{٢}/ثانية على درجة حرارة – ٣^{o}م لكنها نقصت بعد ذلك تدريجيا إلى ١,٧ × ١٠$^{-٧}$ سم^{٢}/ثانية عند درجة حرارة ١٥^{o}م مصاحبة للماء غير المتجمد.

٥- تأثيــر الأمــلاح

يرى بيزلى وفيليب Peaslee & Philipp (١٩٧٠) أن تواجد ٧,٧٥ ملليمكافىء/١٠٠جم من الطين مع أمــلاح النترات أو الكلــورايد أو الكــبريتات

للكالسيوم أو الأمونيوم قد خفضت معامل الانتشار الذاتى للفوسفور عن الأراضى التى لم تعامل (بالأملاح) وكانت الكبريتات ذات التأثير الأقل وكانت معاملات الانتشار فى وجود الكبريتات أو الكلورايد متماثلة ولكن أقل مغزويا من تلك التى يوجد بها كبريتات فكانت معاملات الانتشار الذاتى فى وجود أملاح الكلسيوم أعلى مغزويا من تلك التى يوجد بها أملاح أمونيوم.

وأوضـــح Place وزملاؤه (١٩٦٤) أن إضــــافة $CaCl_2$ بمعدل ضعف الملليمكافئات للسعة التبادلية فإن الانتشار الذاتى قد زاد من ١,٣١ × ١٠$^{-٧}$ إلى ٦,٨٥ × ١٠$^{-٧}$سم^{٢}/ثانية كنتيجة لانخفاض بناء الماء عند سطح الأرض والنسبة الأعلى من الروبيديوم الموجودة بالمحلول.

٦- تأثير المحتوى من الطين

أوضح أولسن (١٩٦٣) أنه بزيادة المحتوى من الطين فى ثلاثة أراضى من ١٧ إلى ٥١ %فإن معامل الانتشار للفوسفور قد زاد من ١,١ × ١٠$^{-٧}$ إلى ٦,٧ × ١٠$^{-٧}$ سم^{٢}/ثانية وزادت قيمة b من ١١٠ إلى ١٧٨ وفى محتوى رطوبة ذات شد معين يكون للأرض الطينية نسبة رطوبة أعلى مما فى الأرض الرملية وبالتالى يكون الحجم المتاح للانتشار أكبر وعند تساوى شد الرطوبة يكون المسار الفعال للانتشار أقصر فى الأرض الطينية مما فى الأرض الرملية. وقد زاد من ١,٣٨ × ١٠$^{-٧}$ إلى ٦,٨٥ × ١٠$^{-٧}$سم^{٢}/ثانية نتيجة لتقليل بناء الماء عند سطح الأرض والنسبة الأعلى ومن دراسات أولسن (١٩٦٣) أنه بزيادة محتوى الأرض من الطين من ١٧% إلى ٥١% فإن معامل الإنتشار P يزيد من ١,١ × ١٠$^{-٧}$ إلى ٦,٧ × ١٠$^{-٧}$سم^{٢}/ثانية وزادت قيمة b من ١١ إلى ١٧ والانتشار الكلى يضرب فى العاملين يكون و D_p أقل فى الأرض الرملية منه فى الأرض الطينية وأوضح ماهتاب وزملاؤه Mahetab exal أن متوسط قيمة D (معامل الانتشـــار الذاتى للفوســـفور) قد ازداد من ٥,٠٠٥ × ١٠$^{-٧}$ بالنسبة لأرض Narwood الطميية إلى ٢٦ × ١٠$^{-٧}$سم^{٢}/ثانية بالنسبة للأرض الطينية. وقد أشار

إلى أن هذه الزيادة ترجع غالبا إلى عامل الحلزونية الذى يصبح أيضا أكبر بزيادة محتوى الطين ومن رأيهم أنه عند كل مستوى فوسفور مضاف يزيد تركيز الفوسفور فى المحلول بزيادة محتوى الأرض من الطين.

ومن نتائج أولسن وزملاؤه (١٩٦٢) أنه عند مستوى رطوبة بالحجم يعادل ١/٣ جو (١,١٣٨) يزداد معامل انتشار D_p للفوسفور من ٤,٣ × $١٠^{-٧}$ سم^٢/ثانية فى أرض Apishapa الطينية الطميية. إلى ٦,٧ × $١٠^{-٧}$ سم^٢/ثانية (٦,٧ × $١٠^{-٧}$ سم^٢/ثانية) فى أرض Peere الطينية عند نفس مستوى الرطوبة.

وأوضح Evan & Barber (١٩٦٤) أنه فى الأرض المغسولة التى تركت مبللة بعد ترقيمها كان الانتشار مرتبطا بمحتوى الطين والسعة التبادلية.

٧- تأثير نوع الطين

أوضح فيليب وبراون (١٩٦٤) أن مستوى معامل انتشار الروبيديوم فى الأربع أراض هو :

أرض كاولينيت > أرض داندى طميية > طين شاركى > طين مونتموريللونايت وكانت قيم معاملات الانتشار من ٥,٤ × $١٠^{-٧}$ إلى ٢٤,٣ × $١٠^{-٧}$ سم^٢/ثانية للمونتموريللونايت والكاؤلينايت على التوالى.

وأوضح Ellis وزملاؤه (١٩٧٠) أن معدل انتشار كل من النحاس والمنجنيز والزنك فى معادن الطين كانت فى طين الكاؤلينايت > من الإلايت Ellite أكبر وفى المونتموريللونايت أكثر من الفرميكيولايت.

٨- تأثير الكاتيونات المتبادلة

أوضح Lari & Mortland (١٩٦١) أن تأثير الكاتيونات المتبادلة على معامل انتشار الأيون المنتشر فى جل gell البنتونايت يتبع بو > ص > ليثيوم.

٩- تأثير السعة التبادلية الكاتيونية

من دراسات Evans & Barber اتضح أنه فى الأراضى المغسولة التى حفظت رطبة بعد ترقيمها كان الانتشار مرتبطا مع محتواها من الطين والسعة التبادلية الكاتيونية.

١٠- تأثير الأنيونات المرتبطة

أوضح Ellis وزملاؤه (١٩٧٥) أن معاملات انتشار فى تركيزات ٠,٥ ملليمكافئ من طين المونتموريللونايت كان كلوريد النحاسيك $Cu\ Cl_2$ أكبر من نترات النحاس أكبر من كبريتات النحاس أكبر من خلات النحاس وكانت قيم معاملات الانتشار ٩,٥، ٨,٣، ٦,٩، ٢,٧ × ١٠$^{-٧}$ سم^{٢}/ثانية على التوالى.

١١- تأثير الكثافة الظاهرية

أوضح فيليب وبراون أن معامل الانتشار الذاتى للروبيديوم ٨٦ وسترونشيوم ٨٩ فى أرض دندى الطميية وأن انتشار السترونشيوم ٨٩ فى أرض شاركى الطينية مقدرة فى كثافات ظاهرية مختلفة فكانت العلاقات بين الكثافة الظاهرية ومعاملات الانتشار الذاتى علاقة منحنية وأن معامل الانتشار الذاتى الأقصى قد حدث فى حالة كثافة ظاهرية ١,٥٨ و ١,٣١ جم/سم^{٣} بالنسبة للسترونشيوم ٨٩ وأراضى دندى الطميية وأراضى شاركى الطميية على التوالى.

ولخص Bryce–Gray (١٩٦٥) تأثيرات التضاغط Compaction على انتشار الروبيديوم فى ثلاثة أراضى مختلفة وفى الأرض التى بها $Rb/\sqrt{Ca}$ = ٠,٠١٤ جزئ و كا كل٢ = $^{M}/_{ه}$ يرتفع سريعا بزيادة التضاغط أولا ثم يتلوه تغير بسيط بزيادة التضاغط والزيادة الابتدائية بزيادة الضغط قليلة. والزيادة الابتدائية تفسيرها بالانتشار المستمربزيادة المسار المائى إذ تزال الجيوب الهوائية الملامسة وبزيادة الضاغط تتشبع المسام ويطرد المحلول.

أوضح كل من Warneked & Barber (١٩٧٢) أنه فى كل أرض تحتوى رطــوبة أرضية يكون مسار الانتشار أقل حلزونية نحو ١,٣٩/سم^{٣}ويكون المستوى

الملاحظ لتأثير كثافة الأرض الظاهرية على الحلزونية كان ١,٦ > ١,٥ > ١,١ > ١,٣ جم/سم[٣] وتنشأ الكثافة الظاهرية للأرض مع رطوبة الأرض فى التأثير على الانتشار الذاتى للزنك ويحدث أقصى معامل انتشار للزنك فى حالة كثافة ظاهرية ١,٣ جم/سم[٣] حيث يكون المسار أقل حلزونية عندما تزداد الكثافة الظاهرية من ١,٥ إلى ١,٦ جم/سم[٣] وأى زيادة فى كل درجة التقاطع والحلزونية معا لبيان انخفاض واضحا معامل انتشار الزنك.

من دراسة Moore (١٩٧٢) يتضح ان التيار المنتشر من الجزيئات A تغير مسافة "α" وهو العدد النهائى من الجزيئات "A" الذى تغير خلال وحدة المساحة من المسافة الإيجابية لاتجاه "X" فى وحدة الزمن وهى تتناسب مع تركيز A عند "X" أى تغير حركة $\partial X / \partial C_A$ ولذا فإن :

$$J_A = D_A \frac{\partial C_A}{\partial_x} \qquad (1)$$

وثوابت التناسب A_A يطلق عليه معامل الانتشار وتسمى المعادلة (١) معادلة Fick القانون الأول للانتشار.

وفى حالة حجم له مقطع الوحدة فى المنطقة بين "X" و "X + dx" فإن التعبير عن زيادة تركيز A مع الوقت يكون ∂_C / ∂_t وهذه الزيادة من تساوى الزيادة من جزيئات A المنتشرة فى المنطقة فوق تلك المنتشرة المقسومة بالحجم dx والحجم dx ولذا يكون :

$$\frac{\partial C_A}{\partial_t} = \frac{1}{dx} [\partial_x (X) - J_A (x + dx)] \quad (2)$$

غير أنه :

$$J_A (x + d\,x) = J_A (x) + 6J_A/6x)\ dx \quad (3)$$

وبالتالى نكون من معادلة (١)

$$\frac{\partial C_A}{\partial_t} = \frac{\partial J_A}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}\left[D \frac{\partial C_A}{\partial x}\right] \qquad (4)$$

وعندما تكون D مستقلة عن "X" تتحول معادلة (٤) إلى:

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D \frac{\partial C_A}{\partial \times e} \qquad (5)$$

ويطلق على معادلة (٥) قانون فيك Fick الثانى للانتشار وهذه الصورة من قانون Fick الثانى تصف الانتشار فى حالة الانتقال وفى تطبيقه لانتشار الأيونات فى الأرض.

استخدم Warneked & Barber (١٩٧٢) المعادلة الآتية والتى سبق أن استنتجها Crank (١٩٦٥) لحساب انتشار الزنك ٦٥.

$$M_t = Z^{65} (C_0 - C_t) (D_e\, {}^{t}/_{TT})^{1/2} \qquad (6)$$

حيث M_t جميع Zn^{65} الذى ينتشر فى ورق راننج للتبادل فى وقت "t" و C_0 التركيز الأصلى للزنك ٦٥ فى الأرض و Ct هو تركيز للزنك ٦٥ فى منطقة تلامس ورقة الراتنج مع الأرض و "D_e" هى معامل الانتشار الفعال للنظام الأرضى.

وأوضحت دراسات Vaiclyanmtin & Nye (١٩٦٦) أنه فة وقت قصير ${}^{C}/_{t}$ يمكن افتراض أن "C_t" يكون صفرا وبالتالى:

$$D_e = M^e_L\, TT/4\, C_o^2\, t \qquad (7)$$

وبافتراض أن أغلب الزنك ينتشر خلال الصورة السائلة يجب أن يكون D_e مساوية لمعدل انتشار Zn فى الماء D_{zn} مضروبة فة معامل التحول وهذا المعامل قد ينقسم إلى قسمين : القسم الفيزيائى والقسم الكيميائى .

مسار الانتشار الحلزونى F_1 Tortuasty يعكس المكون الفيزيائى أما المكون الكيميائى "Ø" فياخذ فى اعتباره الاتزان بين الصور الصلبة والصورة السائلة $\Delta CL / \Delta C_0$ والتفاعل مع غرويات الأرض " γ " وبالتالى:

$$D_{e(Zn)} = D_{Zn} F_1 (\Delta XL / \Delta C) + R = D_{Zn} F_t Ø + R \qquad (8)$$

حيث R تعادل انتشار ما يحدث خلال الصورة السائلة ويرى Parter (١٩٦٠) أن القانون الثانى هو للحالة الثابتة للانتشار ويكون :

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = da \frac{\Delta c}{\Delta x} \qquad (9)$$

الكمية بالجرام و"t" هى الوقت بالثوانى و D هى معامل الانتشار $Cm^2.se\ Cona^{-1}$ و A هى مقطع المساحة التى يحدث بها التدفق سم٢ و C التى بين (جم/سم٣) و X هى المسافة فى اتجاه حركة الأيونات.

وحيث يقدر الانتشار الذاتى فى نظام مسامى وليس فى الماء يكون التفاعل بين الأيونات المنتشرة فى النظام والأيونات المرتبطة بجزيئات المعدن المشحونة تعمل على خفض الانتشار وكذا تنخفض لزوجة الماء فى جوار سطوح المعدن التى تخفض الانتشار ويأخذ هذه العوامل فى الاعتبار.

يمكن اعتبار المعادلة (٩) كما يلى :

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = D\gamma (L/L_e)^2 \theta \frac{\Delta C}{\Delta x} \qquad (10)$$

حيث θ حجم محتوى رطوبة $(L/L_e)^2$ معامل ناتج عن حلزونية النظم واتجاه المسار و γ هى معامل يأخذ فى الاعتبار التفاعل بين الأيونات. والزيادة فى لزوجة الماء فى النظام المسامى.

ويمكن كتابة المعادلة (١٠) كما يلى:

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = D_\Delta (L/L_e)^2 \theta \frac{\Delta C}{\Delta x} \qquad (11)$$

ويمكن تنشيط المعادلة (١١) بالتعويض $D_p = D\,\alpha$

$$D_p = D + (\gamma L/L_e)^2 \theta \qquad (12)$$

وبالتالى :

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = D_p A \frac{\Delta C}{\Delta x} \qquad (13)$$

حيث Δ_a فى معادلة Porter هى كمية P^{32} الفوسفور المرقم المنتشرة خلال أرض فــى المحلول (عدة/دقيقة/سم٣ والحجم) ΔC هى الفرق بين نشاط ^{32}P بين كل جانب (عدة/دقيقة/سم٣) و $\propto$ معامل اللزوجة و γ معامل الادمصاص السلبى.

وفى نظام انتقالى استنتج لونسن المعادلة الآتية :

$$\partial C/\sigma t = \frac{D_p}{\Delta + B} = D_p \frac{\partial^3 C}{\partial \times R} \qquad (14)$$

حيــث D_p و T و σ و x سبق وصفها و b عامل سعة و C تركيز P فى المحلــول الأرضــى (ســم٣/ل) وفى هذه المعادلة (١٤) b و D_p اعتبرت ثابتة ومستقلة عن "C" و T و x ويدخل عامل السعة Capcity fael فى هذه المعادلة لوجــود مقــدار كبير من الفوسفور الــ elile فى القسم الصلب (الأرض) والذى يتحول مباشرة إلى المحلول عندما ينخفض تركيز P فى المحلول بالانتشار.

وأوضـــح Porter وزملاؤه (١٩٦٠) صورة تكاملية مماثلة لمعادلة (١٤) وهى القابلة للتطبيق لقياس "D_p" فى حالة انتقالية.

$$\frac{D_p}{b + \sigma} = \frac{\pi}{t} \left(q/q_0 \, e^{L^2} \right) \qquad (15)$$

حيــث b هــى مــيل مستقيم العلاقة بين مقدار العنصر فى الحالة الصلبة والحالــة الذائبة و σ حجم الرطوبة بالــ cc من الماء لكل cc من الطين و t هى الوقــت بالثانــية و q هو مقدار صوديوم٢٢ الذى ينتشر من قسم إلى آخر و q_0 مجموع قيم صوديوم٢٢ فى النظام .

وبتشــبيع البنتونايت بالكالسيوم فكانت كمية الصوديوم ٠,٠٠٢ ملليمكافىء وهــى كمــية صــغيرة حتى أنه يمكن إعتبارها ذائبة بإستمرار وبالتالى لا يوجد صوديوم فى حالة صلبة وتحذف b من المعادلة ويكون :

$$D_p = \frac{\pi}{t} \left(q/q_0 \right) e^{L^2} \sigma$$

حيث t = ١٦٩٠٠٠ ثانية و q = ٣٠٢٣٨ عدة/٣٠ ثانية و q_0 = ١٠٥٢١٤ عدة/٣٠ ثانية و L = ١,١ سم و σ = ٠,٥٨٤.

وبالتعبير عن "b" كدالة لـــ "C" و "b" وهى مستقلة تقريبا عن Ơ عندما تكون b أقل من ١ فإن Ơ تكون أكبر مغزوية ويكون الميل معتمدا على قيمة "Ơ" أيضا استنتج Philip & Broun المعادلة الآتية :

$$D = TT\,h^2\,F^2 / t \qquad (16)$$

حيث D معامل الانتشار الذاتى الظاهرى و "h" هى المنطقة التى تكون فيها "h" أقل من x أقل من o فى الوقت t و F هى نسبة $(Ơ_1 + Ơ_2)$ حيث $Ơ_1$ هى الكمية التى انتشرت من المنطقة $h < x < Ơ$ خلال الحدود $x = Ơ$ فى زمن t و $Ơ_2$ هى الكمية الكلية من اليونات المتبقية فى الأرض فى نفس المنطقة فى نفس الوقت "t" وقد استخدموا المعادلة السابقة (١٦) لحساب الانتشار الظاهرى الكلى وحسب ماهتاب Mahetab وزملاؤه (١٩٧١) معامل الانتشار الذاتى من صورة مبسطة من معادلة كلوت و Letey كما اقترح ذلك سكوفيلد.

$$Ơ/Ơ_\alpha = {}^{2}/_{L}\ \frac{(DT)^{y2}}{TT}$$

حيث "Ơ" هى ^{32}P أيونات الفوسفور ٣٢ التى انتشرت من الأرض المرقمة إلى الأرض غير المرقمة في وقت "T" و $Ơ_\alpha$ تفاعل نصف كمية ^{32}P الفوسفور المشع الأصلية فى الأرض المرقمة و L طول الأرض فى كل خلية قد حدث فيها الانتشار.

وأوضح Place (1964) وزملاؤه أن التغيرات فى الرطوبة الأرضية تؤثر على معـــدل انتشـــار ومعدل استطـــالة جـــذر النبات ونمو الشعيرات الجذرية. والانتشار الذاتى للروبيديوم ٨٦ كان مرتبطا ارتباطا مستقيما $(R^2 = 0.89)$ مع رطوبة الأرض وتركيز الروبيديوم والتفـــاعل من هذين العاملين . وانتهوا إلى أن تأثير الرطوبة على معدل الانتشار كان عالى المغزوية على امتصاص الروبيديوم ٨٦ أكثر من تأثير على تكون الشعيرات الجذرية فى هذه التجربة.

والانتشار الذى زاد بزيادة الرطوبة كان يعتقد أنه يرجع إلى الأغشية المائية التى تزايد سمكها معطية مساحة مقطع عرض أكثر ليحدث الانتشار وكذا نتيجة حلزونية أقل وتأثيرات أقل من الألكتروستاتيكية على الأيونات فى المحلول.

وأوضح ماهتاب أن معامل الانتشار الذاتي للفوسفور يزيد من ١٠,٢٥ × $١٠^{-١٠}$ إلى ٢٤,٧٦ × $١٠^{-١٠}$ سم^{٢}/ثانية بزيادة المحـــتوى المائى من ٣٥% إلى ١٠٠% من الرطوبة الميسورة . وتتفق هذه النتائج مع نتائج أولسن وزملاؤه. فطبقا لرأى نولسن وزملاؤه(١٩٦٥) فنقص محتوى الأرض من الماء فإن مساحة المقطع العرضى الميسور للانتشار يتناقص وعلى الأيونات أن تتحرك مسافة أطول حتى تصل إلى نقطة معينة وثمة عوامل أخرى مثل اللزوجة والامصاص السلبى تصبح أيضا هامة بانخفاض محتوى الأرض من الماء. وتترك القيم على أن انخفاض الماء الميسور فى الأرض الطينية أو تأثير أقل كثيرا على معامل الانتشار منه فى أرض خشنة القوام ويرجع هذا إلى الحقيقة أن الأراضى الطينية تحتوى ماء حتى تحت شد ١٥جم يكفى لمعدل هام للانتشار.

وأوضح Warnd & Barber انه عند نسبة رطوبة حجمية ١٣% يكون معامل انتشار الزنك $D_{e(zn)}$ يتراوح بين $١٠^{-١٠}$ و $١٠^{-٨}$ سم^{٢}/ثانية مع ضيق المدى باتجاه نسبة الرطوبة الأرضية إلى حالة التشبع.

وتأثير زيادة الرطوبة الأرضية على $D_{e(zn)}$ يمكن أن تفسر بتأثير على الحلزونية وعلى تأثير على تركيز الزنك الذائب. وعندما يثبت الزنك بالمحلول بزيادة الرطوبة تكون العلاقة بين $D_{e(zn)}$ ورطوبة الحجمية علاقة منحنية.

وأوضح أولسن وزملاؤه أنه فى أرض Apishepa الطينية الطميية تراوحت D_p (معامل انتشار الفوسفور)بين ٠,٤ × $١٠^{-٧}$ و ١٥,٥ × $١٠^{-٧}$سم^{٢}/ثانية بزيادة الرطوبة الحجمية من ٠,٢٢ إلى ٠,٥٥ أو ببعض الشد الرطوبى من ٠,٦ إلى ٠,١ جـــو.

ومن دراسات Chaussidon (١٩٥٥) يتضح أنه عند تدرس إليه حركة الكاتيونات دراسة عملة يمكن إرجاع جميع الأسئلة التى تتأثر من حـالة المـاء المدمص فالماء يحدد الشكل الكهربائى اللازم لتحريك الكاتيون من جوار طبقة الأكسيجين خلال ثابت الفصل الكهربائى له ويحتوى توجه مسار الانتشار. كما أنها تحدد خواص الكاتيون نفسه كما فى حالة المحاليل التى تعتبر الهدرته عاملا يتحكم فى الانتشار.

وأشار Graham Bryce (١٩٦٥) أن المحتوى الرطوبى له تأثير كبير على Dhσ انتشار الروبيديوم وقد يكون أهم العوامل المؤثرة على الانتشار فى الحقل.

ففى مقدار من الرطوبة منخفض يكون مسار الأيونات شديد الحلزونية لن أغلب مجموعات الطين وحدها هى التى قد تحتوى ما.

تأثير معدل الإضافة :

أوضح Place وزملاؤه (١٩٦٤) أن الانتشار الذاتى للروبيديوم ٨٦ كان مرتبطا ($R^2 = 0.89$) ارتباطا إيجابيا مع رطوبة الأرض فتركيز الروبيديوم وتفاعلاته مع هذين العاملين فالزيادة فى الانتشار مع الزيادة فى تركيز Rb يعتقد أنها ترجع أن الروبيديوم يكون مرتبطا بالأرض بقوة أقل بزيادة تركيزه فى الأرض ولذا يزيد الروبيديوم الموجود بالأرض بالمحلول الأرضى.

وقام ماهتاب (١٩٧١) بتوضيح أن قيم "D" قد زادت بزيادة معدل إضافة الفوسفور لجميع الأراضى.

ومعدل الانتشار كان يحكمه مقدار الفوسفور فى المحلول ومعدل انطلاق صورة الفوسفور الصلبة إلى المحلول.

ومن دراسة Lewd & Quirk (١٩٦٥) أوضحا أن معامل الانتشار الذاتى قد زاد من ٠,١ × ١٠$^{-٤}$سم^{٢}/ثانية إلى ٣,٤ × ١٠$^{-٤}$سم^{٢}/جرام بزيادة الفوسفور المضاف من ١٠ إلى ١٠٠٠ Mg p على التوالى فى أوعية أرض سيدون.

وأوضح فيليب وزملاؤه (١٩٦٨) أن الانتشـــار الذاتي Dundgl لأرض ملحية وأرض شاركى كان الفوسفور المضاف فى صورة سوبر فوسفات بمعدلات ١٠ و ٢٠ و ٤٠ و ٨٠ و ١٠٠ و ٣٢٠ جزء/مليون.

وكانت معدلات الانتشار الذاتى ومعدلات إضافة الفوسفور مرتبطة إيجابيا ارتباطا مستقيما.

تأثير الانتشار على امتصاص النباتات للمغذيات :

يعتبر تحـــول المغذيات فى المحلول الأرضى ضروريا لنمو النبات نموا طبيعيا ومعدل التجديد فى المحلول الأرضى يجب أن يكون بنفس سرعة الامتصاص على الأقل.

وأوضح Jnief وزملاؤه ان انطلاق الفوسفور من الصور الأرضية الصلبة إلى المحلول الأرضى أكبر كثيرا من معدل امتصاص الفوسفور بواسطة النباتات ولا يعنى هذا أن جميع الفوسفور بالمحلول يمكن أن يمتص بواسطة النباتات وتلامس الجذور جزءا صغيرا من الجزء الأرضى الصلب بينما يكون المحلول الأرضى فى حالة اتزان مع جزء كبير من المواد الصلبة الأرضية.

وحركة الفوسفور فى الأرض شديدة البطء ومحدودة بقليل من الملليمترات فسر أنها ذات أهمي كبير فى تغذية النبات بالفوسفور.

فبامتصاص الجذور للفوسفور من أصول المواقع يتحرك الفوسفور إلى المنطقة المستنفذة بآلية الانتقال الكتلى والانتشار وعندما يركز P الذى يتواجد بواسطة الجذور فعلى الوسفور الذى امتص بواسطة الجذور أن يتحرك إلى جذور النباتات بعملية الانتشار.

وأوضح أولسن وكمبر Olson & Kemper وجاكسون أن انتشار الفوسفور يبدو أنه يعتبر هاما فى امتصاص الفوسفور بواسطة جـــذور الذرة. وقد استنتجوا

معادلة للانتشار تأخذ فى اعتبار امتصاص النبات كإزالة للفوسفور لوضع العلاقة بين الفوسفور بالمحلول الأرضى والفوسفور الصلب وحالة حلزونية مسار الفوسفور وعوامل تفاعل فو فى نظام مسامى.

وأوضح Evanr &Barba أن امتصاص ^{86}Rd بواسطة جذور الذرة كانت عالية الارتباط مع انتشار Rd فى الأرض وفى حين الكاولينايت عندما يكون D_p/b أعلى من ١ × ١٠$^{-٦}$سم^{٢}/ثانية وكانت العلاقة منحنية بعد أن كانت تقريبا مستقيمة فى قـيم أقل من ذلك. والعلاقة المنحـنية فى حالة معدلات انتشار أعلى أرجعت إلى قيود امتصاص الفوسفور بالجذور.

❖ تقديـر معامل الانتشـار

اتبعت طريقتان لتقدير معامل انتشار الصوديوم :

١- طريقة Lai and Mortland .

٢- طريقة Al Gawhry *et al* .

١- طـريقـة Lai and Mortland

استخدم تقنية متابعة الاشعاع لقياس معامل الانتشار كما استخدم طريقة بنتونايت مشبع بالقواعد وخال من الأملاح الذائبة. خلط الطين بالماء بكميات متوالية حتى أصبح عجينة فوضح بحرص فى أنبوبة مدرجة طولها ٢,٥سم وقطرها ١سم مع لصق ورقة ترشيح فى القاع للاحتفاظ بالعين داخل الأنبوبة.

وضعت الأنابيب على أطباق السراميك المسامى فى جهاز Pressor Cook لتوجيه الضغط عليها لمدة يوم واحد حتى يصل الشد فى الطين إلى ٠,٣ جو.

وباستخدام موس كشط السطح ليعطى سطحا ناعما واستخدم الموس أيضا فى عمل شراع رقيقة من الطين.

باستخدام سـرنجة No.16 نقط ^{22}NaCl محتوى على ^{22}Na مشع على الطين ليكون غشاءا رقيقا على سطح الشريحة.

وكان مقدار الاشعاع المضاف فى كل تجربة بقدر يكفى لإعطاء أفضل معدل للعد. كانت جملة الاشعاع المستخدم لكل قياس ٠,٥ UC ومقدار الملح غير المشع فى مختلف التجارب كاف ٥ × ١٠$^{-٤}$ ملليمكافئ من الملح فى محلول بعد إضافة المحلول المشع غطيت الأنبوبة ثم لفت فى بلاستيك لمنع البخر منها وضعت كل منها فى مجفف يحتوى بعض الماء المقطر فى قاعه.

بعد مضى الوقت سابق التحديد – عادة يومين – وضعت الأنبوبة مع الطين clay Plug فى وضع أفقى أمام عداد جهاز قياس وقيس بللورة من يودور الصوديوم Na 1, erystal scinellation وسجل الاشعاع وتصدت للنشاط عند مسافة صفر (x = 0) ثم أخذت الأنبوبة مباشرة وأخرج جزء من الطين فيها.

بعد تسجيل مدى الاحراج (Xizm) extrusion أخذ شرائح منها بواسطة الموس وقدر الاشعاع المتبقى فى الطين ، ولكل شريحة من الطين التى قطعت حسب الاشعاع المتبقى فى الطين.

٢- طريقة الجوهرى وزملاؤه

قسمان من بنتونايت كلسيوم كل منهما ١٥جم جهزا بإضافة ماء مقطر يحتوى ٢×١٠$^{-٣}$ ملليمكافئ NaCl مرقم ^{22}Na بحيث يعطى ٢ MC من ^{22}Na لأحد القسمين وفس المقدار من الماء المقطر NaCl غير مرقم للآخر.

رطب الطين ثم جفف على درجة ٤٧°م ثلاث مرات حتى يتزن مع الصوديوم والمضاف للطين ويطحن بعد التجفيف وينخل خلال منخل ١٠٠ مش.

خلطت أجزاء من الطين مع الماء كما سبق الوصف فى Lai and Mortland ثم نقلت إلى نصف خلية انتشار ٢,٢سم طولا وقطر ١,١سم وولقت وورقتا ترشيح بقاع كل نصف خلية.

ووضعت نصفا كل خلية على طبق سيراميك فى جهاز Pressor Cooker وأجرى التفريغ داخل الجهاز حتى يصل شد الماء إلى ٠,٣ جو وجهزت نصف الخلية المحتوى على ^{22}Na مع النصف الآخر المحتوى على صوديوم غير مشع

مع وضع ورقة ترشيح بين النصفين لتيسير خلطهما ويغطى خلايا الانتشار بالبلاستيك وتوضع فى المجفف المحتوى ماء مقطر فى قاعه لمدة يومين يقاس الاشعاع كما سبق ذكره باستخدام بللورة Na I ذات وميض وأجريت التجربة مزدوجة.

التجارب التى أجراها بلبع وداود* :

أجريت التجارب عام (١٩٧٤) لدراسة عوامل مختلفة على معامل الإنتشار وهذه العوامل هى :

– تأثير نوع الطين

استخدم طين الكاولينايت وطين البنتونايت المشبعين بالكالسيوم اللذان جهزا كما وصف أعلاه وقدر الصوديوم باستخدام طريقةLai and Mortland باستخدام ٥ × ١٠$^{-٤}$ أضيفت على سطح الطين فى أنبوبة وقدر الاشعاع ثم تم الحساب.

– تأثير الكاتيونات المتبادلة

شبع طين البنتونايت والكاولينايت بالكاتيونات Ca, Na or K ثم استخدم ٥ × ١٠$^{-٤}$ملليمكافئ Na كما سبق الوصف فى طريقة Lai & Mortland ثم قدر الصوديوم وأجريت الحسابات للحصول على معامل الانتشار.

– تأثير درجة الحرارة

استخدم الكاولينايت والبنتونايت المشبعان بالكاتيونات Ca, Na or K المشبعان بإضافة ٥ × ١٠$^{-٤}$ملليمكافئ على سطح الطين فى الأنبوبة.

وحفظت الأنابيب فى الثلاجة عند درجة حرارة ٤^{o}م وفى درجة حرارة الغرفة (٢٠^{o}م) أو فى حضانة ذى درجة حـــرارة ٤٠^{o}م لمدة يومين ثم غطيت كل

---

* Diffusion of sodium in clay and soil systems using radio active ^{22}Na.
رسالة ماجستير لـــ D.A. Dawood إشراف أ.د. عبد المنعم بلبع .

خلية فى بلاستيك لتقليل البخر ثم استخدم الموس لعمل شرائح ثم قدر الاشعاع كما سبق ذكره فى حرارة الغرفة.

– تأثير الوقــت

استخدم الكاولينايت والبنتونايت المشبعان بالكلسيوم فى هذه التجربة واحتفظ بالأنابيـــب فى درجة حرارة الغرفة لمدة ١,١ و ٤,٢١ أيام ثم قدر الاشعاع بعدها وحسب معامل الانتشار.

– تأثير التركيز

يرى Lai & Mortland أن الحد الأقصى للتركيز هو ٤ × ١٠$^{-٣}$ ملليمكافئ ويرى أن تركيزا أعلى من ذلك يؤثر على معامل الانتشار وأجريت هذه التجربة باستخدام تركيزين أقل من التركيز الذى نصح به Lai & Mortland وتركيزين أعلى منه وأجريت الطريقة كما وصف أعلاه.

– تأثير الأملاح

جهزت أنابيب من البنتونايت والكاولينايت مع إضافة محلول NaCl بتركيز ٤٠ و ٨٠ و ١٦٠ ملليمكافئ/لتر بدلا من ماء مقطر واستكملت الطريقة كما سبق.

التأثير على معامل الانتشار فى أراضى طينية أو رملية :

استخدم نوعان من الأراضى بعد طحنهما ونخلهما خلال منخل ١٠٠ مش كما استخدم رمل نقى وخلط بالبنتونايت المشبع بالكلسيوم واستكملت التجربة كما سبق.

معامل الانتشار Na فى الرمل وفى نظام من الطين و كا ك أ٣ :

جهزت أعمدة من كا ك أ٣ مرسبة نقية وطين بنتونايت كلسى مع كا ك أ٣ مكون من صفر – ١٥ – ٥٠ – ١٠٠% كا ك أ٣ كما سبق وصفه.

❖ حســـاب معامل الانتشـــار

- طريقـــة Lai & Mortland

استخدم حل معادلة قانون فيك :

$$C_x = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} - \frac{X^2}{4Dt} \quad (1)$$

حيث Q كمية المادة الموضوعة فى شكل طبقة متناهية الرقة على سطح وتركت لتنتشر فى وسط متناهى السمك. فى هذه الحالة يكون "C_x" هى تركيز المادة المنتشرة فى وقت "T" على مسافة "x" من الحد الأصلى و معامل الانتشار، وهذه الحدود تتوافق مع حدود قانون فيك

وفى طريقتهما(Lai & Mortland) قيس اشعاع الخلية الطينيةClay Plug عند السطح ويمتص الطين جزء من الاشعاع تحت السطح ويتبع الامتصاص لمعادلة الأسية المعروفة بـــ $I = I_0 e^{-Kx}$.

حيث I_0 الاشعاع الذى تم قياسه دون امتصاص .

و I الاشعاع الذى يقاس فى الجســـم الماص ذى ســـمك "X" حيث معامل الامتصاص "K" ولذا فإن جهاز قياس على مسافة "x" تحت السطح يساهم فى مقدار الاشعاع على السطح ويكون مساويا لـــ :

$$C_x e^{-kx} dx$$

ولذا فإن الاشعاع الكلى الذى تم قياسه على سطح الطين يكون :

$$A_0 = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} \int_0^{\alpha} e^{-\left(X^2/4Dt + Kx\right)} dx \quad (2)$$

وبالمثل عندما يكون سطح الخلية قد شرح (إلى شرائح) حتى عمق X تحت السطح الأصلى فإن النشاط الاشعاعى الذى يقاس عند السطح الجديد يكون :

$$A_x = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} - \int_e^{\alpha} \frac{\infty}{\left(X^2/4Dt + Kx\right)} dx \quad (3)$$

وبجعل :

$$Y = \frac{x}{2\sqrt{Dt}} + K\sqrt{Dt}$$

وبالتكامل بين x = o فإن :

$$\frac{Ax}{A0} = \frac{1 - erfYx}{1 - erfY_0} \qquad (4)$$

ولما كانت $erfy_0$ أقل من ١ فى معادلة (٤)

و O = X ويكون $Y_0 = Y$ يحصل على المعادلة الآتية :

$$A_0 = Q\, e^{K^2}\, Dt\, (1 - erfy_0) \qquad (5)$$

حيث erfy تطلق عليها دالة الخطأ للتكامل error funcuion إذ Probabbty integral (احتمال التكامل) وتتحول المعادلة (٥) إلى :

$$A_x = Q\, e^{K^2}\, Dt\, (1 - erfy_x) \qquad (6)$$

وإدماج معادلتى (٥) و (٦) :

$$\frac{Ax}{A0} = \frac{1 - erfYx}{1 - erfY_0} \qquad (7)$$

والحالة التى يكون فيها A_x/A_0 أكبر من ١ تتحقق عندما يكون قياس النشاط الاشعاعى للطين قد أجرى عند أى عمق أسفل الحد السطحى حيث $erfy_0$ أقل من ١ فى معادلة (٧) يمكن اختصارها تقريبا إلى:

$$erfy = 1 - A_x / A_0 \qquad (8)$$

وقيم A_0 و A_x يمكن الحصول عليها من التجارب وقيم "Y" يمكن وجودها من erfy من جداول الاحتمالات.

طريقة الجوهرى وزملاؤه (١٩٧٠) :

جزءان من طين بنتونايت – كا كل منهما ١٥جم جهزا بإضافة ماء مقطر يحتوى ٢ × ١٠$^{-٣}$ ملليمكافئ من ^{22}Na المشع المرقم بمقدار ٢ Mc من ^{22}Na جزء واحد ونفس مقدار الماء المقطر و NaCl بدون ترقيم للجزء الآخر.

رطب الطين ثم جفف على ٤٧^{o}م ثلاث مرات ليصل إلى حالة الاتزان بين Na والطين. طحن الطين بعد التجفيف ونخل خلال منخل ١٠٠ مش.

مزجت أجزاء الطين فى الوعاء كما ذكر فى طريقة Lai & Mortland ثم نقلت إلى نصف خلية انتشار قطرها ٢,٢سم وسمكها ١,١سم مع وضع ورقة ترشيح فى ارتفاع ولكل نصف خلية للحفاظ على العينة ونصف نصفا الخلية فى طبق سراميك فى Presser Cooker واستخدم تفريغ داخل الجهاز لمدة يوم حتى يصل شد الماء إلى ٠,٣ جو ونصف الخلية المحتوية على ^{22}Na عومل بنفس الطريقة وربط مع النصف الآخر المحتوى على Na ووضعت ورقة ترشيح بين النصفين لتسهيل فصلهما، وغطيت الخليتان بالبلاستيك ووضعتا فى المجفف الذى ماء مقطر لمدة يومين.

سجل الاشعاع لكل نصف خلية باستخدام بللو NaI وأجريت التجربة فى مكررتين وجربت المعاملات الآتية لمعرفة تأثيرها على الانتشار.

تأثر نوع الطين واستخدم بنتونايت وكاولينايت وجهزا كما وصف واختير انتشار Na كما فى طريقة Lai & Mortland فأضيف ٥ × ١٠$^{-٤}$ ملليمكافئ Na على سطح نصف ثم التقدير والحسابات كما فى طريقة Las & Martland.

– تأثير الكاتيونات المدمصة

كما سبق فى Lai & Mortland كان الطين مشبعا Ca أو K أو Na كما فى سابقه وقدر معامل الاشعاع .

– تأثير درجة الحـــرارة

كما سبق فى Lai & Mortland .

أوضحت الدراسة الآتى :

١– اختلاف قيمة معامل الانتشار المقدر بطريقة Lai & Mortland والقيمة المقدرة بطريقة الجوهرى وزملاؤه حيث كان معامل الانتشار فى الطريقة

الأولى ٣,٢٧ × $١٠^{-٦}$سم^{٣}/ثانية بينما كان ١,٦ × $١٠^{-٦}$سم^{٣}/ثانية فى طريقة الجوهرى.

ويرجع هذا الاختلاف أساسا إلى طريقة التقدير فبينم يوضع الصوديوم على سطح عمود الأرض فى طريقة Lai & Mortland فإنه يخلط بنصف كمية الطين التى تلتصق بالنصف الآخر فى طريقة الجوهرى.

٢- اختلاف معـامل الانتشـار للصـوديوم فى طين المونتمريلونايت المشـبع بالكالسيوم عنه فى طين الكاولينايت المشبع بنفس العنصر حيث كانت قيمة معامل الانتشار الأول ٢,٦٢ × $١٠^{-٦}$سم^{٣}/ثانية بينما كانت فى الكاولينايت ٣,٤٨ × $١٠^{-٦}$ سم^{٣}/ثانية وأوضحنا أن ذلك يرجع إلى مقدار الماء الذى يحتفظ به كل من نوعى الطين والسعة التبادلية الكتيونية لكل من نوعى الطين.

٣- اختلاف قيمة معامل الانتشار باختلاف الكاتيون المدمص على سطح الطين حيث زادت قيمته فى حال الصوديوم عنه فى حالة البوتاسيوم والكالسيوم إذ كانت ٤,١٢ × $١٠^{-٦}$سم^{٣}/ثانية وفى حالة البوتاسيوم ٢,٨٥ × $١٠^{-٦}$سم^{٣}/ثانية وفى حالة الكالسيوم ٢,٦٢ × $١٠^{-٦}$سم^{٣}/ثانية وقد أوضحنا سبب ذلك.

٤- معامل انتشار الصوديوم لا يتأثر بمقدار الصوديوم المضاف على سطح العمود إذ كان هذا المقدار بين ٥ × $١٠^{-٤}$سم^{٣}/ثانية و ٤ × $١٠^{-٣}$ملليمكافئ Na لكل أفق.

٥- يزيد معامل الانتشار بزيادة درجة الحرارة فكانت قيمته فى حالة البنتونايت المشبع بالكلسيوم فى درجة حرارة٤ ، ١٠ ، ٢٠^{o}م على التوالى٢,١ × $١٠^{-٦}$ سم^{٣}/ثانية و ٢,٦٢ × $١٠^{-٦}$سم^{٣}/ثانية و٣,٨٧ × $١٠^{-٦}$سم^{٣}/ثانية على التوالى. وينخفض بطول المدة إذ انخفض من ٤,٤ × $١٠^{-٦}$سم^{٣}/ثانية بمقدار يوم واحد إلى ٣,٢٧ × $١٠^{-٦}$سم^{٣}/ثانية بعد يومين و ٢,٥٥ × $١٠^{-٦}$ سم^{٣}/ثانية بعد ٤ أيام.

٦- يقل معامل الانتشار فى الرمل وبالتالى فوجود نسبة من الرمل مع الطين يؤدى إلى عدم قدرة الرمل على الاحتفاظ بالماء.

٧- قيمة معامل الانتشار فى كا ك أ٣ عالية إذ تبلغ ٩,٧ × ١٠^-٦ سم^٣/ثانية ولكن وجود نسب من الطين مع كربونات الكالسيوم كان كافيا لحجب أثر كا ك أ٣.

٨- قدر معامل انتشار الصوديوم فى ثلاثة أنواع من الأراضى مختلفة القوام والأصل والخواص الأخرى. كان معامل الانتشار فى الأرض الرسوبية (طنطا) ٣,٣ × ١٠^-٦سم^٣/ثانية وفى أرض البحيرات (الضبعة) ٤,٧ × ١٠^-٦ سم^٣/ثانية وفى الأرض الجيرية (مريوط) ٦,٨١ × ١٠^-٦ سم^٣/ثانية. وقد سبق مناقشة ذلك.

٩- تم حساب جهد التنشيط activation energy فى طين البنتونايت المشبع بالكلسيوم أو البوتاسيوم أو الصوديوم وكذا فى طين الكاولينايت المشبع بالكالسيوم وكانت قيم معامل جهد التنشيط activation energy :
٥٧٥٦ – ٥٤٤٣ و ٨٠٥١ – ٥١٨١ كالورى/جزىء على التوالى وحسبت أيضا المسافة بين مواقع التبادل distance between exchange sites وقد كانت هذه القيمة ١٤ × ١٠^-٨سم فى حالة طين البنتونايت المشبع بالكلسيوم ، و ٩,٦ × ١٠^-٨سم فى حالة الكاولينايت المشبع بالكلسيوم وقدر أيضا معامل النفاذية Transmission factor.

❖ تجديد المغذيات فى المحلول الأرضى بالإنتشار

تجديد المغذيات فى المحلول الأرضى ضرورى لنمو النبات الطبيعى ومعدل التجديد فى المحلول يجب على الأقل أن يكون مساو لسرعة معدل الامتصاص بواسطة النبات وقد أوضح فريد وزملاؤه Fried et al 1957 أن إنطلاق الفوسفور من الصور الصلبة للأرض إلى المحلول الأرضى أعلى كثيرا من معـــدل امتصاص الفوســـفور بواسطة النباتات . ولا يعنى هذا أن المحـــلول

الفوسفورى جميعه يمكن أن يمتص بواسطة النباتات ، فجذور النباتات لا تلامس غير جزء من الصورة الصلبة للأرض بينما يكون المحلول الأرضى فى حالة اتزان مع جزء كبير من المواد الصلبة الأرضية.

ومعروف أن حركة الفوسفور فى الأرض شديدة البطء وتجدد بمعدل ملليمترات قليلة غير أنها ذات أهمية كبيرة فى تغذية النبات بالفوسفور.

وبامتصاص الجذور للفوسفور من موقع ماء يتحرك الفوسفور ليعوض هذا الموقع ويتم ذلك الباب بالاعتراض الجذرى والانتشار وقد أوضح باربر Barber أن قسما كبيرا من الفوسفور الذى امتصه النبات يجب أن يتحرك إلى جذور النبات وأن آلية هذه الحركة هى الانتشار.

وأوضح أولسن وكمبر وجاكسون Olsen, Kamper & Jakson أنه يبدو أن آلية انتشار الفوسفات تعادل آلية امتصاص معدلات الذرة للفوسفور. وقد استنتجوا معادلة الانتشار تأخذ فى اعتبارها تأثير علاقة الفوسفور فى المحلول وفى الصورة الصلبة إضافة إلى الحركة اللولبية Tortuosity وعوامل التفاعل مع النظام المسامى.

واستخدم أولسن Qlsen & Watenabbe الاختلافات بين معاملات انتشار الفوسفور فى الأرض الرملية والأرض الطينية ليوضحا الاختلافات فى معدلات امتصاص الفوسفور بواسطة بادرات الذرة من تركيزات متساوية أصلا فى الفوسفور فى المحلول الأرضى.

وأوجدوا معادلة تربط امتصاص الفوسفور بواسطة جذور النبات مع معامل الانتشار وسعة الفوسفات Phosphate Capacity وأوضحا أن معدل الامتصاص تتناسب مع $\sqrt{b D_P}$ حيث D_p معامل الانتشار و b ميل الخط الذى يربط الفوسفور الميسور المخزن labile p مع تركيز الفوسفور فى المحلول وهو ما نسميه سعة الفوسفات عندما تكون العوامل الأخرى ثابتة.

وأوضح Evans & Barber أن امتصاص الروبيديوم ٨٦ بواسطة جذور الذرة كان شديد الارتباط مع انتشار الروبيديوم فى الأرض وفى نظم الكاؤلينايت، وفى حالة قيم D_p/Δ أعلى من ١٥-٦ × ١سم٢/ثانية كانت العلاقة منحنية بينما كانت أقرب إلى خط مستقيم فى حالة معدلات أقل من ذلك وكانت العلاقة المنحنية فى حالة معدلات عالية لمعامل الانتشار أرجعت إلى محدودية معدل امتصاص جذور الذرة.

وأوضح Place (1963) وزملاؤه أن ارتباط امتصاص الروبيديوم ٨٦ من الأرض كان مرتبطا إيجابيا مع الروبيديوم ٨٥ المقربة من قياسات استنزاف مساحات حول الجذور.

ومن دراسات Cannon (1971) اتضح أهمية الانتشار فى تحريك الحديد نحو جذور النبات وقد حسبت من حسابات نظرية. وفى دراسات النباتات زادت الموليبدات Cheltes بالانتشار وامتصاص الحديد بزيادة تركيز الحديد المنتشر لامتصاص السورجيم وقد زاد امتصاص الحديد فى خط مستقيم مع تركيز الحديد فى المحلول.

ودرس ماهتاب Mahtab (1979) وزملاؤه الفوسفور واتضح من دراسته أن امتصاص الفوسفور بواسطة سورجوم الحبوب Sorghum valgare أمكن قياسه بعد ٤ مستويات من الفوسفور المضاف وثلاث مستويات من الماء فى حالة ٤ أراض من تكساس.

وكان امتصاص الفوسفور مرتبطا مع معامل انتشار الفوسفور المقدر مقدما للأربع أراضى التى عرضت لنفس المعاملات فى هذه الدراسة.

والانتشار هو العملية التى تتحول بها المواد تدريجيا لتصبح مفرقة بانتظام خلال مساحة معينة نتيجة حركة جزيئاتها.

وفى حالة انتشـــار العناصر المشـــعة يستخدم تعبير الانتشـــار الذاتى Self diffuion للتعبير عن تبادل أيونات العنصر المشع والعنصر غير المشع.

وقد أوضح Grohank & Bryce (1965) أنه فى قسمين من أرض فى شكل اسطوانة إذا كان أحدهما يحتوى عنصرا مشعا موزعا توزيعا منتظما فى الاسطوانة فإن هذه الايونات المشعة تنتشر من العنصر المشع إلى الأرض التى بها العنصر غير المشع ومعامل الانتشار يطلق عليه انتشار ذاتى وأشار Jost 1960 أن الانتشار الذاتى بمعناه الدقيق لا يمكن ملاحظته.

والانتشار فى الأرض أبطأ منه فى المحاليل نتيجة عاملين:

١- عامل كهربائى يرتبط بالتغيرات على جزيئات الأرض.

٢- عـــامل جيومترى Geometry نتيجة المســـار الأطـــول والمقطع Cross Section الأصلى للأنتشار.

ومعامل انتشار الأيون فى نظام الأرض والماء دالة لعدة خواص لمركبات الأرض والماء والأيون المنتشر والخواص الأساسية. فى ذلك تركيز الجزيئات الغروية والمـــاء فى النظام ولزوجة المـــاء وقطـــر الأيون المنتشر وقوة مجال جزيئات الغروى .

ويرى Kemper أن الماء قد تكون له لزوجة أكثر قرب سطوح الطين بينما آخرون أوضحوا أن الانتشار محكوم بالصورة السائلة فى النظام.

وأوضح Lai & Mortland من دراستهما أن الصورة الصلبة فى جيل (gell) الطين تحكم انتشار الأيونات وليس الصورة السائلة (sol) من النظام كما أضافوا أن اللزوجة ليست هامة.

مقارنة معاملات الانتشار المتحصل عليها بطرق مختلفة :

مـــن دراسات بلـــبع وداود

معامل انتشار الكالسيوم – بنتونايت باستخدام طريقتين :

١- Lai & Martland.

٢- الجوهرى ومهتاب ، ومعادلة مهتاب وزملاؤه.

وفى كلا الطريقتين كان محتوى الماء ومقدار الصوديوم والوقت متساوية.

والمعادلة التى استخدمها الجوهرى وزملاؤه هى :

$$\frac{Dp}{(B+Q)} = \frac{n(q/q_0)^2 L^2}{t}$$

حيــث b مــيل الخط المستقيم الذى يعبر عن مقدار العنصر فى الصورة الصلبة والصورة السائلة.

Q محتوى الرطوبة سم^{٣} من الماء لكل ١سم^{٣} طين.

t الوقت بالثانية الذى تظل فيه كتلتان من الطين فى حالة تلامس (وقت الانتشار).

q مقدار ^{24}Na الذى انتشر من كتلة إلى أخرى فى الوقت t.

q_0 جميع ^{22}Na فى النظام.

L طول كل كتلة.

n ثابت = ٣,١٤.

D_p معامل الانتشار الذاتى سم^{٢}/ثانية فى النظام المسامى.

وفى هذه الدراســة شــبع البنتونايت بالكالســيوم وكان مقــدار الصوديوم المستخدم ٠,٠٠٢ ملليمكافئ وهذه الكمية صغيرة لدرجة أنها تعتبر مستمرة فى المحلول وبالتالى لا يوجد صورة صلبة لــ Na وباستبعاد b من المعادلة وينتج:

$$Dp = \frac{n}{t}(q/q_0)^2 L^7 Q$$

حيث t = ١٦٩٢٠٠ ثانية.

q = ٣٠٢٣٨ عدة/٣٠ ثانية.

q_0 = ١,٥٢١٤ عدة/٣٠ ثانية.

Q = ٠,٠٢٨٤.

وكانت قيم معامل الانتشار باستخدام طريقة الجوهرى هى ١٠$^{-٦}$ × ١,٦سم^{٢}/ثانية وبطريقة Lai & Mortland ١٠$^{-٦}$ × ٣,٢٧٠ سم^{٢}/ثانية.

واعتبرت الاختلافات بين القيمتين راجعة لاختلافات الطريقتين ، ففى طريقة Lai & Mortland وضع الصوديوم على سطح الأرض مباشرة بينما فى طريقة الجــوهرى خلط الصــوديوم تماما مع الطين فى نصــف واحد من الخلية وكذا وضعت ورقة ترشيح فى قاع الخلية.

وأشار جراهام ورايس أنه عمليا يصعب وضع قسمين رقيقين من الأرض متلاصقين تماما.

ومن دراسات بلبع وداود :

استخدم بنتونايت (Arizona Bentonite) فى إعداد معلقات من البنتونايت والكاتيونات k-bentonite, Na-Ca-Benitonte بطريقة Makady & Low فيطحن البنتونايت الخام ثم ينخل خلال منخل ٤٤ مش وخلط البنتونايت المجروش مع مخلوط ٠,٥% من كالجون (Na hexameta phosphate) لتكوين معلق يحتوى ٣% طين ورج المعلق عدة ساعات وترك طول الليل وفصلت الجزيئات التى قطرها أقل من ٢ ميكرون بطريقة الفصل ثم تركز حتى أصبح عجينة كثيفة وأضيف محلول $Ca\ Cl_2$ ثم غسلت المواد التى فصلت ثلاث مرات بتعليقها فى محلول أساسى NaCl أو أساس KCl أو أساسى $CaCl_2$ لتحضير بنتونايت مشبع بالبوتاســيوم أو الصوديوم أو الكالسيوم وتبع ذلك بالرج ثم الطرد المركزى مع التخلص من السائل الرائق ثم غسلت المادة لتصبح خالية من الأملاح بإحلال محلول الأملاح بماء مقطر وكحول إيثيل فى حالة Ca bentonite وبالكحول فقط فى حالة كل منNa bentonite و K bentonite واعتبرت الأملاح غير موجودة عندما أوضح اختبار السائل الأعلى أن الأملاح غير موجودة باستخدام نترات الفضة – وحفظ الطين الخالى من الأملاح على ٧٠-٨٠°م ثم جرش ليمر خلال منخل ١٠٠ مش وعومل بمثل ما عومل به البنتونايت.

ثلاث عينات أرض من Cornwal England Kaolinite فأخذت منه عينات أرض من صفر – ٣٠ سم وجفــفت وطحنت لتمر خلال منخل ١٠٠مش وأخذت

العينات من أرض رسـوبية من دلتا النيل من طنطا، وأرض المنطقة قاع بحيرة مريوط شرقى الطريق الصحراوى وأرض صحراوية جيرية من الساحل الشمالى الغربى (قرية فلسطين أرض مزروعة) ووصفت هذه الأراضى كيميائيا وفيزيائيا.

اتبعت طريقتان لتقدير معامل الانتشار للصوديوم الأولى اقترحها Lai and Mortland (1961) والثانية استخدمها الجوهرى وزملاؤه (١٩٧٠).

طريقـة Lai & Mortland :

استخدمت هذه الطريقة تقنيات المتابعة الاشعاعية Radioactive tracing tech والبنتونايت المستخدم مشبع بالقواعد وخال من الأملاح. وخلطه مع الماء بإضافات متوالية حتى تحول الطين إلى عجينة ووضع بعناية فى أنبوبة مدرجة طولها ٢,٥سم وقطرها ١سم ولصقت ورقتا ترشيح فى القاع لتبقى العينة عليها.

وضعت الأنابيب على أطباق سيراميك مسامية فى جهاز Pressure Cooker ورفع الضغط داخله لمدة يوم ليصل شد الطين إلى ٣,٥ ضغط جوى.

وتم الحصول على سطح أملس للطين بقطع شرائح أعلى الأنبوبة بواسطة موس ونقط بسرنجة رقم ١٦ محلول ملح NaCl على غشاء رقيق على سطح الأنبوبة. وكان الإشعاع فى المادة المضافة بحيث يعطى أفضل ظروف التقدير كان الإشعاع الكلى المستخدم فى التجارب $١٠^{-٤}$ × meq من محلول الملح.

وغطيت الأنبوبة بواسطة بلاسـتيك لمنع التبخـر ووضعت جميع القطع البلاستيك فى مجفف الذى ملئ قاعه بالماء المقطر.

بعد الوقت المرغوب – عادة يومين – وضع الطين فى الأنبوبة المدرجة (بلورة Crystal Scinlelation) وقدر الإشعاع مسافة $(X = 0)$.

أخذت الأنبوبة مباشرة وأخرج بعض الطين بضغطه.

بعد تسجيل مدى الاستخدام $(X = cmm)$ استخدم الموس فى عمل شرائح وقيس الإشـعاع فى كل شـريحة من الطين وإشعاع الطين فى الطين الباقى فى الأنبوبة قيس أيضا.

طريقة الجوهرى وزملاؤه :

استخدم عينات من البنتونايت المشبع بالمكالسيوم مجهزة بإضافة ماء مقطر بعد إضافة ٢ × ١٠$^{-٣}$ ملليمكافئ من "ص كل" حيث "ص" مرقم ٢٢ بمقدار ٢، ٢ u من ^{22}Na إلى أحد الجزئين مع نفس الكمية من الماء المقطر و "ص كل" غير مرقم للكمية الأخرى. ورطب ثم جفف على درجة ٤٧^{o}م ثلاث مرات حتى يتم الاتزان بين الطين و "ص كل" غير المرقم.

وبعد تجفيف الطين طحن ونخل خلال منخل ١٠٠ مش.

وخلط الطين مع الماء كما سبق فى طريقة Lai and Mortland السابقة ونقلت إلى نصف خلية انتشار قطرها ٢,٢سم وسمكها ١,١سم ووضعت ورقتا ترشيح فى القاع لكل نصف خلية حتى تحتفظ كل عينة بموقعها. ووضع نصف الخلية على طبق سيراميك فى جهاز الــ Pressure Cooker واستخدم تفريغ داخل الجهاز لمدة يوم حتى يصل شد الماء إلى ٣ جو.

ونصف الخلية ذات ^{22}Na بالنصف الآخر أو "ص" غير مرقم، ووضعت ورقة ترشيح بين النصفين لتيسر فصل النصفين فيما بعد عند موقع تلامسهما. وغطيت خلايا الانتشار بقطعة بلاستيك ووضعت فى مجفف يحتوى ماء لمدة يومين.

قيســت درجــة الاشعاع فى كل نصف خلية باستخدام بلورة من يوديد الصوديوم Na l Crystallic scinitillation وكررت التجربة مرتين.

أجريت هذه التجــربة لدراســة العوامل التى قد تؤثر على معامل الانتشار والعوامل التى درست هى :

١- تأثير نوع الطين استخدم فيها طين بنتونايت وطين كاولينايت محضرين كما سبق.

٢- انتشار الصوديوم اختبر باستخدام طريقة Lai and Mortland باستخدام ٥ × ١٠$^{-٤}$ Na أضيف على سطح العمود ثم التقدير وأجريت الحسابات

٣- تأثير الكاتيون المدمص.	٤- تأثير درجة الحرارة.	٥- تأثير الوقت.

٦- تأثير التركيز.	٧- تأثير الملحية.

٨- معامل الانتشار فى الرمل وفى مخلوط من الرمل والطين.

٩- انتشار الصوديوم فى كا ك أ٣ وفى نظام من الطين + كا ك أ٣.

١٠- انتشار الصوديوم فى الأراضى.

حساب معامل الانتشـــار :

استخدم Lai & Martland التقنيات التى وصفها واستخدما المعادلة الآتية:

$$C_x = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} e^{X^2/4Dt}$$

حيث : Q هى كمية المادة التى وضعت بنظام فى شكل طبقة متناهية الدقة على السطح وتركت لتنتشر خلال وسط متناهى السمك، وحدود هذه الحالة يمكن معاملتها كما فى قانون Fick للمصدر الوقتى.

C_x تركيز المادة المنتشرة فى وقت "t" على بعد "X" من الحد الأصلى و D معامل الانتشار.

وفى تقدير الاشعاع الكلى لخلية الطين تم قياس الاشعاع على السطح وقسم من الاشعاع تحت السطح سوف يدمص بواسطة الطين وسوف يتبع الامتصاص قانون المعادلة الأسية المعروفة : $I_0 = I\,0e^{-Kx}$

حيث : I_0 هو الاشعاع المقدر دون امتصاص و I الاشعاع الملاحظ خلال جسم ماص سمكه x بمعامل امتصاص K ولذا فكل جهات قياس على بعد x تحت الســطح ســوف يســاهم بكمية من النشاط activity والسطح متناسبا مع :

$$C_x = e^{-Kx}\,dx$$

ولذلك فالنشاط الكلى المسجل على سطح الطين سوف يساوى :

$$Å = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} \propto e^{-(x2/4\,Dt + Kx)} \quad (1)$$

وبالمثل عندما يتم أخذ قطاع من سطح الخلية إلى أسفل حتى عمق x أسفل السطح الأصلي فالنشاط radioactivity التي تقاس عند السطح الجديد يكون حسب المعادلة :

$$Å = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} \quad \alpha \; e^{-(x2/4\,Dt + Kx)} \quad (2)$$

$$Y = \frac{X}{2\sqrt{Dt}} + K\sqrt{Dt} \qquad \text{(3) وبوضع}$$

وبالتكامل بين x = صفر يكون :

$$Y = Y_0 = K\;\sqrt{Dt} \quad (4)$$

وعندما يكون α = x فإن:

$Y = Å$ ويحصل على المعادلة الآتية :

$$A_0 = Q\,e^2\,Dt\,(1 - erfY_0) \quad (5)$$

حيث : erf يطلق عليها خطأ الدالة أو تكامل الاحتمال.

ويمكن الوصول إلى معادلة كما يلي :

$$A_x = Q\,e^{k2}\,Dt\,(1 - erf_{yx}) \quad (6)$$

وباتحاد المعادلتين (٥) و (٦) :

$$\frac{Ax}{A0} = \frac{1 - erf_{yr}}{1 - erf_0} \quad (7)$$

وحالــة Ar_0 تكون أكبر من أو تساوى ≤ عندما يكون قياس النشاط للطين عــند أى عمــق أســفل الحد الأصلى ولما كان $erfy_0$ أكبر من (١) يمكن كتابة المعادلة (7) كما يلي :

وتختزل إلى: $erfy_0 = 1 - \frac{Ar}{A0}$

ويمكن الحصول على قيمتى $A_0 - A$ من التجارب وقيمة "Y" يمكن معرفتها "$erfy_0$" من جداول Standard Probability وتوقيع "Y" مع "Y" تنتج معادلة "ج" من خط مستقيم يمر خلال نقطة الأصل ويمكن تقدير قيمة معامل الانتشار من ميل الخط المستقيم $1/2\sqrt{gt}$ حيث "t" هى مدة الانتشار.

وأجريت الحسابات وأدرجت فى الجداول وفى هذه الحسابات "b" كانت معروفة باستخدام طريقة المربعات الصغرى لإيجاد علاقة بين "Y" و "Y_0" وفى توقيع قيم "Y" و "Y_0" فى شكل استخدم متوسط قيم "b" من مكرر تجربة ورسم الخط المستقيم الذى يمثل النتائج لكل مكررة والقيم المتوسطة أدرجت فى الجداول وحسبت فيها قيم "Y" وهما الدالة على ^{22}Na فى خلية البنتونايت المشبع بالكاتيون K أو Na أو Ca.

معامل التحول Transmision factor

حسب معامل التحــول طبقا لمعــادلة Porter وزملاؤه (١٩٦٠) لانتشار الكلوريد كما يلى :

$$De = D\, Y\, (L/La)^2$$

حيث : De هى معامل انتشار الكلوريد الفعالة.

D معامل انتشار الكلوريد فى المحلول.

γ معامل بدون وحدات تمثل التفاعل الأيونى

$(L/Lp)^2$ معامل tortuosity (بدون وحدات).

وطبقا لـــ Kemper يكون معامل انتشار الصوديوم فى المحلول١,٣٣× ١٠^-٦^ سم^٢^/ وأشار qarter إلى أن معامل التحول هو:

$$D_2/D = Y\, (L/L_2)^2$$

قيم معامل transmision

معامل التحول للصـــوديوم فى النظام المستخدم حسب استخدام قيم معامل الانتشار فى النظام و D معامل الانتشار للصوديوم فى المحلول وأدرجت القيم فى جدول.

جهـــد التنشيط Activation energy

يعتبر Activation مقياسا لحاجز الجهدenergy barrier الذى يجب اجتيازه عندما يتحرك الأيون أو جزئ الماء من موضع التوازن إلى التالى له.

وهذه القياسات استخدمت لاستنتاج من الجزئ والتى تستطيع جزيئات الماء والأيونات أن تتحرك حول الطين فى نظم الطين والماء.

وأوضح Lai & Mortland أن معامل الانتشار D يتوقف على الحرارة (T) طبقا للعلاقة : $D = Ae^{-E/RT}$.

حيث E هو Activation energy و A ثابت الـــ Activation و R = ثابت الغاز.

وتقدير الـــ Activation energy يمكن أن يتم من قياس A عند درجات حرارة مختلفة ثم توقيع لوغاريتم D مع $^{1}/_{T}$ Activation energy.

ويمكن حساب منحنى الخط المستقيم الناتج باستخدام قيم لمعامل الانتشار D للصوديوم فى بنتونايت – كا و Ca-Kaolinte عند درجات حرارة مختلفة ٤ و ٢٠ و ٤٠ ^{o}م ورسم الشكل من توقيع قيم لو D مع قيم $^{1}/_{T}$ وميل الخطوط المستقيمة حسبت ووجد أنها = ١٠٤٤,٢ و ١٤٤,٦ لبنتونايت الكالسيوم وكاؤلينات – كا على التوالى .

$$D = Ae^{-0.4343\,E}$$

$$\log D = \log A - \frac{0.4343\,E}{RT}$$

المثال :

$$Slope = \frac{0.4343\,E}{2}$$

حيث R = تقريبا كالورى/مول

1) Ca – bentonite :

$$-1250 = -Slop = \frac{0.4343\,E}{2}$$

$$E = 5756 \ \ Cal/mole$$

2) Cakaolinite :

$$1195 = \text{Slop} = \frac{0.4343\,E}{2}$$

$E = 5181\ \text{Cal/mole}^{-1}$

3) Na- bentonite :

$$-1750 = \frac{-0.4343\,E}{2}$$

$E = 8059\ \text{cal/mole}^{-1}$

4) K- bentonite

$$-1182 = \frac{-0.4343\,E}{2}$$

$E = 4343\ \text{cal/mole}^{-1}$

Distance between exchange sites المسافة بين مواقع التبادل

الوقت الذى تقضيه الكاتيونات على مواقع التبادل يتناسب طرديا مع جهد الإنتشار وعكسيا مع حركتها.

والعلاقة بين الوقت T الذى يقضيه الأيون على موقـــع التبادل وجهد النشاط E يعبر عنه كما يلى :

$$T = T_0\, e^{E/RT} \quad (1)$$

حيث الثابت T_0 يرتبط بوقت دوران الذرات السطحية للجسم الماص وبإستخدام هذه الفكرة قام Deboer بتقويم انتشار الغاز بحركته على السطحية كطريقة تمثل كيف يقفز الكاتيون المدمص من موقع إلى آخر ، وبالمثل حركة الكاتيونات المدمصة على الطين يمكن تصورها تقفز من أحد مواقع التبادل إلى آخر مجاور له .

وقد استنتج جهـــد النشـــاط activation energy أن الماء والأيونات قادرة على الحركة فى نظام الطين والماء وكان جهد نشاط الصوديوم فى البنتونايت المشبع بالصوديوم .A.Q كالورى/جزئ بينما كان جهد نشاط البوتاسيوم فى البنتونايت المشبع بالبوتاسيوم ٥٤٤٣ كالورى/جزىء . كما أن المسافة بين مواقع التبادل التى عهد فيها بأنها مســـافة القفز بافتراض أن الأيونات تقفز من موقع إلى

آخر فتؤثر على الانتشار فعندما تكون المسافة ضيقة على مواقع التبادل تكون حركة الأيونات أيسر معامل انتشار الصوديوم فى طين كاولينايت مشبع بالكلسيوم كان ٣,٤٨ × ١٠^-٦ سم/ثانية وكانت المسافة ٦,٦ × ١٠^-٨ سم وكان معامل الانتشار ٢,٦٢ × ١٠^-٦ سم^٢/ثانية والمسافة من مواقع التبادل ١٤ × ١٠^-٨ سم.

وبالمثل يمكن تصور حركة الكاتيونات المتبادلة على معادن الطين بأنها تقفز من موقع ادمصاص إلى آخر كموقع ادمصاص مجاور.

وطبقا لرأى Deboer تكون العلاقة بين معامل الانتشار "D" والمسافة بين مواقع الادمصاص "a" للحركة السطحية يمكن التعبير عنها كالآتى :

$$D = \frac{1}{4} \frac{a^2}{T_0} \quad (2)$$

وبتجميع معادلتى (١) و (٢) ينتج : $a = 2\sqrt{D\, T_0\, e^{E/RT}}$

ويرى Lai & Mortland أن المسافة بين مواقع إدمصاص متتالية للأيونات المنتشرة يمكن حسابها وقد استخدما قيمة 10^{-13} ثانية لقيمة T_0 فى حسابهما للمسافة التى يقفزها الأيون "a" ويريان أن هذه القيمة T_0 غير مؤكدة بالنسبة للنظم التى درساها وبالتالى فإن قيم "a" الناتجة من هذا الحساب يمكن انتقادها وقد لا تمثل الواقع.

1) Ca-bentonite $= 2\sqrt{2.6 \times 10^{-6} \times 10^{-13} \times 10^{0.3434} \times 5756/9 \times 293}$
$= 14 \times 10^{-8}$

2) Ca-Kaolinite $= 2\sqrt{7.48 \times 10^{-6} \times 10^{-3} \times 10^{0.3443} \times 5181/2 \times 293}$
$= 6.6 \times 10^{-8}$ cm

3) Na-bentonite $= 2\sqrt{4.12 \times 10^{-6} \times 10^{-13} \times 3443 \times 8059 \times 297}$

4) K-bentonite $= 2\sqrt{2.85 \times 10^{-6} \times 10^{-13} \times 10^{0.4343} \times 5443/2 \times 293}$
$= 11.09 \times 10^{-8}$ cm.

الانتشار فى الأرض أبطأ منه فى المحاليل المائية لعاملين :

١- عامل كهربائى مرتبط بالشحنات على سطوح جزيئات الأرض .

وإضافة على المسافة بين مواقع التبادل فإن سعة التبادل للنظام عامل يؤثر على معامل الانتشار وبينما يرى بعض الباحثين أن تفاعل التبادل عامل يبطئ حركة الأيونات بالانتشار فإن Lai و Mortland يريان أن هذه الحركة تتم بالقفز من موقع إلى آخر وأن الحركة يحكمها الجزء الصلب من النظام.

وارتفاع درجة الحرارة يزيد الجهد ويؤدى إلى زيادة معامل الانتشار.

كما أن سعة احتفاظ الأرض بالماء تحكم الانتشار فكلما زاد احتفاظ الأرض بالماء كلما زاد معامل الانتشار.

٢- عامل qeometintion نتيجة المسار الأطول وصغر المقطع المناخ للانتشار فى نظام مسامى منه فى محلول حر.

ومعامل الانتشار فى نظام من الأرض والماء دالة لعدة خواص لمكونات الأرض والماء والأيون المنتشر.

والخواص الأساسية فى هذا الشأن هو تركيز الجزيئات الغروية والماء فى النظام وقطر الأيون المنتشر ولزوجة الماء وقطر الأيون المنتشر.

قوة مجال الجزيئات الغروية :

وقد أوضح Kemper أن الماء قد يكون له لزوجة أكبر قرب سطح الطين بينما باحثون آخرون أوضحوا أن الانتشار محكوم بالصورة السائلة فى النظام.

وانتهى Lai & Martland من دراستهما بأن الصورة الصلبة فى جبل الطين تحكم انتشار الأيونات وليس الصورة السائلة ، كما أشاروا أن اللزوجة ليست كفاية.

اعتماد معامل الانتشار على التركيز :

يحدث الانتشار نتيجة عمال التركيز للأيونات التى تدرس وظن أنه تحت ظروف ثابتة من محتوى الرطوبة والحرارة والوقت فإن قيمة معامل الانتشار يجب أن تظل ثابتة ومستقلة عن تركيز الأيونات المنتشرة.

مـــن رأى عدد من الباحثين أن هذا لا يحدث منهم (Lai and Mortland والجوهرى) قام الجوهرى وزملاؤه بضرب قيم معامل الانتشار فى قيمة "ط" وهى معامل السعة وحصلوا على قيمة ثابتة نسبيا لمعامل انتشار الزنك فى الأرض.

وأوضـــح Lai and Mortland (1961) أنهما عندما استعملا مقدار بين ٤×١٠^{-٣} و ٢×١٠^{-٦} ملليمكافئ فى المحلول كان معامل الانتشار مستقلا عن تركـــيز الأيـــون. وأجريت تجربة لاختبار هذا المدى. وكانت قيم معامل انتشار الصوديوم فى بنتونايت – كا باستخدام كميات من Na 3×10^{-4} و 3×10^{-3} و 1×10^{-2} و ٢×10^{-2} meg.

وبالـــتالى يتأثر معامل الانتشار بعدة عوامل ومن هذه العوامل لزوجة الماء فمن المعروف أن الماء الذى تحتفظ به الأرض قرب سطوح حبيباتها أو صحائف بلوراتهـــا ليس حرا بالدرجة التى يكون عليها الماء الذى يملأ المسافات المسامية الكبيرة فكلما زاد لزوجة الماء كلما قل معامل الانتشار.

وأوضحا أن قيم معامل الانتشار لكميات من الصوديوم التى كانت على طح الطيـــن فـــى حالة 5×10^{-4} و 4×10^{-3} كانت 3×10^{-6} – 2 سم^{٢}/ثانية. فهذه القيم كانت مستقلة عن كميات Na مستخدمة مع الطين.

وكذا اتضح أن معامل الانتشار أوضح أنه يعتمد على الكميات المستخدمة من Na أكبر من 4×10^{-3} فعندما كانت الكمية 2.7×10^{-6} و 5×10^{-6} – 3 سم^{٢}/ثانية على التوالى.

أثر نوع الطين على معامل الانتشار :

تنتشر الأيونات بحرية فى الماء. لكن فى حالة نظم من الطين والماء فتعطل حركة الماء الأيونات لوجود الطين.

فحركة الأيونات تتعطل لتغطى الماء فى النظام ، فعلى الأيونات أن تتحرك مســـافة أطـــول فـــى الغشاء المائى المحيط بجزيئات الطين حتى يمكنها أن تعبر مسافة معينة. وهذا المسار غير المستقيم (الحلزونى) يؤدى إلى نقص المجال الذى

علـــى الأيون أن يعبره وكذا فإن المقطع الأصغر متاح للانتشار فى وسط مسامى أكبر منه فى محلول حر.

فالانتشـــار فـــى نظـــام مـــن الطين والماء يتعطل أيضا بالشحنة التى على جزيـــئات الطين. فالشحنات السالبة على جزيئات الطين تؤثر على حركة الأيون نتيجة تفاعلها مع الماء وهذا التفاعل يزيد اللزوجة قرب السطوح كما أن التفاعل بيـــن هذه الشحنات والشحنات على الأيون المنتشر فى صورة التبادل يؤثر على حركة الأيون.

وقد اتضح من الدراسة أن معامل الانتشار Na فى نظم من بنتونايت Ca– Kaolnite, Ca كانـــت 2.62×10^{-6} و 3.43×10^{-6} سم^{٢}/ثانية على التوالى بالمعـــامل الأعلـــى Ca – Kaolnite كانت نتيجة خواص هذا النظام فالأيونات تـــتحرك نحـــو الجاذبية الأقل تركيزا فى النظام خلال الماء وفى مرورها تعطل بواسطة جزيئات الطين وكذا بالتفاعلات الكيميائية.

وفى حالة تواجد كربونات الكالسيوم بالأرض يتأثر مقدار الماء الذى تحتفظ به الأرض وبالتالى يتأثر معامل الانتشار. وفى الدراسة التى أجريت (بلبع وداود) كان الماء الذى احتفظت به كا ك أ$_{٢}$ أقل من الماء الذى احتفظ به البنتونايت الشبع بالكالســـيوم فالماء فى حالة النظام الثانى كان موجودا بين صحائف بلورية بينما الماء فى كا ك أ$_{٢}$ كان محتفظا به بين الجزيئات كما أن تفاعل التبادل فى نظام كا ك أ$_{٢}$ ماء أقل كثيرا منه فى حالة البنتونايت ولذا كانت حركة الصوديوم فى نظام كا ك أ$_{٢}$ أسرع.

وهـــذه العوامـــل مجتمعة تعمل معا فى النظام الأرضى وتسبب تعقيد هذه الظاهرة فى الأرض.

ورغم أن فى كل من Ca – Ca - Cabentonite, Bentonite كان ٠,٣ جـــو إلا أن Ca – Ca - Cabentonite, Bentonite قد احتفظ ٨٠ و ١٣٨% رطوبـــة علـــى الـــوزن الجاف على التوالى ولو أن الماء فى حركة بين طبقات الـــبللورات ولـــذا بكمية الماء التى احتوت فى البنتونايت قد تكون غير فعالة فى عملية الانتشار.

المقارنة بين معامل الانتشار المحسوب بطريقة Lai & Mortland وبطريقة الجوهرى وزملاؤه طريقة Mahtab :

وفى هذه الطريقة كان مقدار محتوى الرطوبة متساويا كما كان الوقت أيضا متساويا استخدم الجوهرى وزملاؤه المعادلة الآتية :

$$D_p/_{(b+a)} = {}^{M}/_{t}\,(q l q_0)^2\, L^2$$

حيث "b" هى ميل خط العلامة بين مقدار العنصر فى الصورة الصلبة والصورة السائلة.

b: حجم الماء سم٣/سم٣ من طين.

t: الوقت بالثوانى الذى تلامس فيه قسما الطين (مدة الانتشار).

q: مقدار Na^{22} الذى ينتشر من قسم إلى آخر خلال وقت t.

q_0: المقدار الكلى من Na^{22} فى النظام و "O" حجم الرطوبة سم٣ من الماء لكل سم٣ من الطين.

L: طول كل قسم من الطين.

π: ثابت = ٣,١٤.

D_p: معامل الانتشار الذاتى للنظام سم٢/ثانية.

وفى هذه الدراسة شبع البنتونايت بالكلسيوم وكان مقدار الصوديوم المستخدم وهذه الكمية صغيرة حتى اعتبرت أنها تقل بالمحلول وبالتالى لا يوجد طور صلب من ش وبالتالى حذفت "b" من المعادلة وأصبح :

$$D_p = {}^{\pi}/_{t}(\,q/q_0)^2\, L^2\, Q$$

حيث :

t = ١٦٩٠٠٠ ثانية.

q = ٣٠,٢٣٨ عدة/٣٠ ثانية.

L = ١,١ سم.

Q = ٠,٨٤

D_p = ١,٦ × ١٠^-٦ سم٢/ثانية

وكانت قيم معامل الانتشار الناتجة من طريقة Lai & Mortland وطريقة الجوهرى كانت ٣,٢٧ × ١٠⁻٦ سم²/ثانية و ١,٦ × ١٠⁻٦ سم²/ثانية على التوالى ويعتبر الفرق بين القيمتين ناتجة من اختلاف الطريقتين ففى طريقة Lai and Mortland أضيف الصوديوم على السطح مباشرة بينما فى طريقة الجوهرى خلط الصوديوم تماما فى نصف خلية الطين ووضعت ورقة ترشيح بين كل من النصفين فى كل خلية.

واستخدم ماهتاب (١٩٧١) نفس الطريقة التى استخـــدمها الجوهرى لكنه استخدم المعادلة الآتية :

$$Q/Q_\alpha = 2/L\,(DT/\pi)^{1/2}$$

حيث :

Q: مقدار أيونات ^{22}Na التى انتشرت من الطين المرقم إلى الطين غير المرقم فى زمن t.

Q_α: تساوى نصف ^{22}Na الأصلى فى الطين المرقم.

والواقع أنها تفسر المعادلة التى استخدمها الجوهرى.

وبالتعويض عن هذه الحدود بقيمها فى نظام Ca – Na – hertowte.

Q = ٣٠٢٣٨ عدة/٣٠ ثانية.

Q_α = ٥٢٦٠٧ عدة/٣٠ ثانية.

L = ١,١

T = ١٦٩٢٠٠ ثانية.

D = ١,٨٥ × ١٠⁻٦ سم٢/ثانية.

وفى هذه المعادلة Q نصف مقدار الأيونات المضاف يدل على المقدار الذى يبقى بعد أن يصل الانتشار. إلى حالة الثبات وأصبح جانبا الخلية فى حالة اتزان.

ويأخذ قيمة Q أقل من Q_α تدل على أن حالة الاتزان لم تتحقق وأن الانتشار لا يزال فى حالة التحول.

وقد أوضح Lai & Mortland أن معامل انتشار الصوديوم لم يتأثر بمقدار الصوديوم المضاف إلى الطين وأوضحت نتائج بلبع وداود أنه عند إضافة ٤ × $١٠^{-٣}$ كان معاملا الانتشار يعتمد اعتمادا ضئيلا على كمية Na المضافة فعندما أضيف ١ × $١٠^{-٣}$ أو ٢ × $١٠^{-٣}$ ملليمكافىء Na كانت قيم معامل الانتشار ٢,٧٠ × $١٠^{-٦}$ و ٣,٢٥ × $١٠^{-٦}$ $سم^{٢}$/ثانية على التوالى. وقد راجع بريجز وشانتز .Shanz نتائج نحو ٢٠ تجربة توضح أثر الخصوبة.

الباب الثانى

التعبـــير الكمى عن إستجـــابة الحاصلات للتسميد

- ❖ العلاقات الكمية بين النبات والعناصر المغذية
- ❖ التقدير الكمى للكفاءة النسبية لصور العنصر المختبر
- ❖ حساب مساهمة الصور المختلفة للعنصر فى تغذية النبات

التعــبير الكمى عن إستجابة
الحاصلات للتسميد

تأخــر التعــبير الكمى عن الظواهر البيولوجية بالمقــارنة مع العمليات الفيزيائية أو الكيميائية. وبالنسبة لمجال تغذية النبات شهد منتصف القرن التاسع عشر حتى نهايته محاولات مختلفة للتعبير عن أستجابة الحاصلات لأضافات من العناصر المغذية . عندما نشر ليبج Liebig كتابه عن " **قانون العامل المحدد** " الذى كان تعبيرا عن الأراء والنظريات السائدة بالنسبة لهذا المجال فى هذه الفترة. وكانت هذه الجهود خطوات ضرورية حتى أمكن تحقيق التقدم فى هذا المجال منذ أن أقترح متشرلش قانون " **العائد المتناقص** " فى أوائل القرن العشرين (١٩٠٩).

وقد أعطى التقدم الذى تحقق فى مجالات أخرى مثل علم الأحصاء وطرق الحساب والحاسبات الألكترونية دفعة قوية للتعبير الكمى عن العلاقة بين النبات وعوامل النمو ولذا أصبح ممكنا وضع العلاقات بين نمو النبات والعوامل التى تؤثر على هذا النمو فى شكل كمى.

وبالرغم من هذا التقدم الهام فى هذا المجال نلاحظ أنه لا يكاد يوجد كتاب متخصص لعلاقات النبات مع عوامل النمو. كما أن مقررات علم الأراضى وعلم المحاصيل فى الجامعات لاتعطى لهذا المجال الأهمية التى يستحقها.

فى بعض الأوقات كان سبب هذا الوضع بالنسبة لهذا المجال أنه يحتاج الى معرفة واسعة بالرياضيات ، غير أن الحاسبات الألكترونية حلت هذه المشكلة ولم يعد الأمر يتطلب معرفة خاصة بالرياضة .

وقد رأيت نشر هذه الصفحات بطريقة مبسطة حتى يستطيع أى زراعى فهمها وقد تجنبت فيها – قدر الإمكان – التحليلات والأستنتاجــات الرياضية مع التركيز على عرض تطبيق التعبير الكمى لأستجابة الحاصلات لأضافات السماد .

والتعبير الكمى عن أستجابة الحاصلات للتسميد موضوع عام فمجرد ذكر أن أضافة مقدار من سماد ما أعطى محصولا قدره كذا كجم هو تعبير كمى رقمى عن أستجابة هذا المحصول لهذه الأضافة من هذا السماد. ولكن عند أضافة معدلات مختلفة من السماد تعطى مقاديرمن المحصول لانستطيع أن نقول ان هذه المقادير توضح أثر التسميد بهذا السماد بمعدلات مختلفة على هذا المحصول فنحن نود أن نوجد قانونا عاما لأثر اضافات هذا السماد على هذا المحصول تحت نفس الظروف بحيث اذا عرفنا هذه العلاقه يمكننا معرفة المحصول الناتج اذا أضفنا اليه أى مقدار من السماد أى حددنا نوع العلاقة بين هذا المحصول وهذا السماد وكثيرا ما ينتج عن تحديد هذه العلاقة معرفة الكثير من القيم والعلاقات الهامة الأخرى مثل :

١. كفاءة السماد تحت ظروف نمو مختلفة (تغير ملحية الأرض – تغير الخدمة).
٢. الأضافات الأقتصادية من السماد وأعلى أضافة من السماد .
٣. حساب محتوى الأرض من العنصر المغذى معبرا عنه بوحدات السماد المضاف .
٤. مقارنة كفاءة الصور المختلفة المضافة من العنصر .
٥. حساب مساهمة السماد فى محتوى المحصول من العنصر المضاف .

مساهمة محتوى الأرض من العنصر الغذائى والسماد المضاف فى المحصول الناتج :

كان ليبج Justus von Liebig من أول من حاولوا ذلك بعد أن عرف أن النبات (يتغذى) على العناصر فى صورها الأيونية وأنتهى الى القانون الذى يعرف بأسمه أو قانون العامل المحدد Law of the minimum factor ولو أن Sprengel سنه ١٨٢٩ كان قد أقترح هذا القانون الذى ينص على ان العنصر الغذائى الموجود بالأرض بأقل كمية بالنسبة لحاجة النبات منه يصبح عاملا محددا

للنمو فأضافة أى مقدار منه تزيد النمو بنسبة مطردة ثابته ، بينما أضافة أى عنصر آخر لن يكون لها تأثير حتى يزيد مقدار العنصر المحدد .

بمقتضى هذا الرأى يكون التغيير فى المحصول "ص" متناسبا مع التغير فى عامل النمو.

أى :

$$\frac{د\ ص}{د\ س} = م\ (\text{ثابت})$$

وبالتكامل ينتج ص = د س + ك

وهذه هى معادلة الخط المستقيم اى اذا وقعت مقادير " ص" التى تنتج من وحدات " س" من العنصر المختبر على رسم بيانى ينتج خط مستقيم .

عندما أختبر Mitscherlich الباحث الألمانى هذه العلاقة سنه ١٩٠٩ أجرى تجربة بسيطة قصد بها أن يقدر كميا درجة أعتماد النبات على العامل المحدد للنمو، فزرع نباتات الشوفان Oats ووفر لها جميع عوامل النموعدا الفوسفور ، فأضاف هذا العنصر الى هذه النباتات على أربعة مستويات متزايدة ، بينما ثبت بقية العوامل ، ثم قام بوزن نباتات الشوفان بالتجربة – جذورها وسيقانها وثمارها – ورسم خطا بيانيا وضع فيه كمية الفوسفور المضاف على المحور السينى والأوزان الناتجة على المحور الصادى ، ولكنه لم يحصل على خط مستقيم كما كان يتوقع من قانون ليبج بل حصل على خط منحن متجه الى أعلى .

بحصول ميتشرلش على منحنى بدلا من خط مستقيم بدأ الشك فى رأى ليبج، وبدأ التفكير فى وضع علاقة أخرى تمثل أستجابة النبات لأضافات السماد (أو عوامل النمو) فمعنى الحصول على منحنى أن الزيادة فى المحصول ليست ثابته بل تتناقص بزيادة معدل الأضافة ودعا ذلك الى أن يفترض أن قانون الغله المتناقصة المعروف فى الأقتصاد هو الذى يحكم العلاقة بين المحصول وعناصر النمو .

والرأى الثانى لمتشرلش هو ماأسماه قانون العلاقات الفسيولوجية والذى يقضى بأن المحصول يتوقف على جميع عوامل النمو مجتمعة أى أن أضافة أحد عوامل النمو التى توجد بمستوى غير محدد تزيد المحصول، ويضيف متشرلش أن كل عامل يزداد أثره كلما قلت كميته. ويفسر زيادة المحصول بإضافة العنصر غير المحدد بأن النبات فى هذه الحالة يحتوى نسبة منخفضة نوعا من العنصر المحدد أو أن اضافة العنصر غير المحدد تساعد النبات على الحصول على مزيد من العنصر المحدد . ومن الناحية الرياضية نجد أن " ص" تزيد بزيادة " أ " وهى المحصول الأعلى الذى يتوقف على جميع عوامل النمو وكذا على " س" العنصر المختبر .

والرأى الثالث لمتشـــرلش وباول هو النســـبة المئوية للكفاية Percentage sufficiency concept وبمقتضى هذا الرأى فإن كمية معينة من عنصرٍ مـا تكون كافية لأنتاج نسبة معينة من المحصول الذى يمكن أنتاجه عندما يكون هذا العنصر موجودا بوفرة بغض النظر عن وزن المحصول الناتج .

وتطبيقا لهذا الرأى أيضا فهما يريان (متشرلش وباول) أنه اذا كان الفوسفور مثلا موجودا بكمية تكفى ٩٠% من المحصول الأعلى عند توفر جميع عناصر النمو وكان البوتاسيوم فى نفس الوقت موجودا بكمية تكفى ٧٠% من هذا المحصول الأعلى فإن المحصول الذى يتوقع الحصول عليه فى هذه الحالة هو :

$$\frac{٩٠}{١٠٠} \times \frac{٧٠}{١٠٠} = ٦٣\%$$ من المحصول الأعلى .

ويختلف ذلك عن قانون ليبج الذى يتوقع الحصول على ٧٠ % من المحصول الأعلى لأن الفوسفور فى رأى ليبج لا يؤثر لوجوده بنسبة أعلى من توافر البوتاسيوم الذى يعتبر عاملا محددا .

ويقضى قانون العلاقات الفسيولوجية بأن المحصول الناتج يتوقف على جميع عوامل النمو مجتمعة أى أن أضافة أحد عوامل النمو التى توجد بمستوى غير محدد (Limiting) يزيد المحصول بعكس ما يراه ليبج من أن العنصر المحدد فقط هو الذى يؤثر على المحصول . ويضيف متشرلش أن كل عامل يزداد أثره كلما قلت كميته .

وأقترح باول Baule أنه اذا كان الناتج الأعظم ١٠٠% وأن اضافة مقدار من عامل النمو ينتج نصف المحصول الأعظم فإن اضافة مقدار تال مساو للمقدار الأول (أى الوحدة الثانية) يعطى نصف الفرق بين المحصول الأعظم والمحصول السابق أى ½ (١٠٠-٥٠) = ٢٥% ويكون المحصول الناتج عن الوحدتين معا (٧٥%) من المحصول الأعظم ويعطى المقدار الثالث نصف الفرق من المحصول الأعلى والمحصول المحقق ٧٥% أى ½ (١٠٠-٧٥) = ١٢,٥ % وتكون جملة المحصول الناتج من الوحدات الثلاث ٨٧,٥ % من المحصول الأعلى وهكذا .... ويطلق باول على كمية العنصر التى تنتج ٥٠% من المحصول الأعلى وحدة باول ويرى انها مقياس الأستفاده Efficiency Index وتعرف هذه الكمية الآن بوحدة باول Baule unit .

وأهم الأعتراضات التى أبديت على معادلة متشرلش هى أن " م" فى المعـــادلة لو (أ – ص) = لو أ – م س ليست قيمة ثابتة كما يرى متشرلش فهو يرى أنها قيمة لا تتغير بتغير النبات أو الأرض أو المناخ وأطلق عليها معامل الأستفادة Efficiency Coefficieny وقد وضع معاصروا متشرلش هذه النقطة موضع الأختبار فى عدد كبير من التجارب فلم يحصلوا على قيمة ثابتة لـــ " م" .

ويحاول براى R.H. Bray أن يفسر التضارب بين رأى كل من لبج ومتشرلش فيقسم براى العناصر المغذية للنبات الى قسمين الأول قسم قادر على الحركة خلال التربة مع الماء وفى الماء (بخاصية الأنتشار) وأفضل مثل له هو

النترات. والقسم الثانى لايستطيع التحرك فى التربة مثل الأيونات المدمصة على سطوح الحبــيبات الغروية والرواســب بطيئة الذوبان ومن الأمثله لذلك البوتاسيوم والفوسفور.

يرى براى أن النبات يمتص العناصر المغذية القادره على الحركة فى الأرض من المنطقة المحيطة مجموعة الجذور أى من منطقة امتصاص المجموع الجذرى Root system sorption zone أما بالنسبة للعناصر المغذية غير القادرة على الحركة فى الأرض فإن امتصاص الجذور لها قاصر على مناطق امتصاص السطوح الجذرية Root surface sorption zone وبالأبتعاد عن منطقة التلاقى هذه تنخفض قدرة النبات على الأمتصاص انخفاضا شديدا .

العـــلاقات الكمية بين النبات

والعناصر المغـــذية

تهدف دراسات التسميد الى زيادة معرفتنا بالأثر الذى تحدثه هذه الأسمدة على نموالنباتات الأقتصادية حتى يمكن زيادة كفاءة عملية التسميد بأختيار نوع السماد المناسب لنبات معين فى أرض معينة ، وأضافة هذا السماد فى الوقت الذى تتحقق منه أعلى أستفاده وبالكمية التى تعطى أعلى عائد منه .

وتهتم دراسات التسميد فى الفترة الأخيرة على وجه خاص بالتعبير الكمى عن أستجابة الحاصلات المختلفة للأسمدة تحت ظروف نمو مختلفة .

ويمكن تحليل عوامل الأنتاج تحليلا كميا الى : المناخ والأرض والنبات والأنسان والزمن ويضع ينىJenny هذه العلاقة فى صورة المعادلة الآتية :

المحصول ≡ (المناخ ، النبات ، الأنسان ، الأرض ، الزمن)

وتوضح المعادلة أن نوع ومقدار المادة العضوية الناتجة من مساحة ما من الأرض تتوقف على العوامل بين القوسين (اذا اعتبرت هذه العوامل مستقلة تماما عن بعضها ، فيحسن تغيير لفظ الأرض بلفظ المادة الأرضية أو مادة الأصل Soil meterial or Parent material .

العلاقة بين الأنتاجية والخصوبة :

اذا كانت الأرض ذات تركيب طبيعى مناسب ، واذا ثبتت الظروف المحيطة من جو وخدمة (الأنسان) ونوع النبات وصنفه ومدة مكثه ، ليصبح العامل المحتمل تغيره هو الخصوبة ويقصد بخصوبة التربة **مقدار ما تحتويه من العناصر الضرورية المغذية للنبات فى صور ميسوره لهذا النبات .**

وإذا أعتبرنا أن النتروجين الموجود بالأرض يتناسب مع ما تحـــتويه الأرض

من عناصر مغذية أخرى اى اذا أصبح النتروجين دالا على خصوبة التربة ، فإن الأنتاجية Productivity معبرا عنها بالمحصول ص ≡ (ن) مع أعتبار باقى العوامل ثابته .

وقد حاول كثير من الباحثين تحديد نوع الدالة الرياضية التى تحقق هذه العلاقة العامة حتى يمكنهم أن يضعوا العلاقة بين المحصول الناتج والعامل المتغير أو العوامل المتغيرة فى شكل قانون رياضى محدد .

ويفهم من قانون الغلة المتناقصـــة Law of diminishineg returns أن الزيادة الناتجة من أضافة الوحـــدة الثانية من العنصر المخـــتبر أقـــل من الزيادة الناتجة عن اضافة الوحدة الأولى والزيادة عن الوحدة الثالثة أقل من الزيادة الناتجة من الوحدة الثانية وهكذا تقل الزيادة الناتجة من كل وحدة بتوالى أضافة الوحدات . والتعبير الرياضى عن قانون الغله المتناقصة هو المعادلة الأسية أو الصوره اللوغاريتمية لها وتنتج هذه المعادلة من الفرض أن التناسب بين مقدار العنصر المضاف والمحصول غير ثابت بل تتناقص يحكمها الفرق بين المحصول الأعظم والمحصول الناتج عند توفر جميع عوامل النمو والمحصول الناتج (ص).

أى التغير فى ص " د ص " بالنسبة الى التغير فى س أى د س :

أى $\frac{\text{د ص}}{\text{د س}}$ = م (أ – ص) أو [١]

$\frac{\text{د ص}}{\text{أ – ص}}$ = م د س وبالتكامل [٢]

لو (أ – ص) = م س + ك [٣]

وكلما زادت " س " كلما قل المقدار (أ – ص) ولذا تأخذ م علامة (–)

∴ لو (أ – ص) = ك – م س [٤]

فإذا كانت " س" = صفر فإن المحصول " ص " الناتج = صفر

ويكون لو أ = ك وبالتعويض عن ك فى المعادلة [٤] بالمقدار لو أ

تكون : $\text{لو } (\text{أ} - \text{ص}) = \text{لو أ} - \text{م س}$

$$\therefore \frac{\text{لو } (\text{أ} - \text{ص})}{\text{لو أ}} = - \text{م س}$$

$$\therefore \frac{\text{أ} - \text{ص}}{\text{أ}} = ١٠^{-\text{م س}}$$ بعد تحويل الأساس هـ الى الأساس ١٠

$$\therefore \text{أ} - \text{ص} = \text{أ} \times ١٠^{-\text{م س}} \quad \therefore \text{ص} = - \text{أ} + \text{أ} \times ١٠^{-\text{م س}}$$

أو $\text{ص} = \text{أ} \, (١ - ١٠^{-\text{م س}})$

وهذه هى الصورة المبسطة لمعادلة متشرلش وقد أثارت هذه المعادلة وبقية أراء متشــرلش ومنها مــا ســماه بقانون العلاقات ولازالت مصــدر الكثير من المناقشات .

ويرى براى ان جذور النبات تستطيع أن تمتص كل مقدار العنصر القادر على الحركة Mobile من منطقة امتصاص المجموع الجذرى وأن محتوى النبات فى هذه الحالة من هذا العنصر تساوى تقريبا كل مقدار هذا العنصر الموجود بهذه المنطقة عدا ما يفقد بالطرد مع الماء وما يثبت فى أجسام الكائنات الدقيقة ، أما بالنسبة للعناصر التى لا تتحرك فى الأرض فإن المقدار الممتص بواسطة الجذور لا يمثل غير نسبة ضئيلة من المقدار الكلى الموجود منه بالأرض .

وأختلاف النباتات فى كثافة جذورها وطريقة تفرع هذه الجذور بالأرض يؤدى الى أختلاف الكميات التى تستطيع أمتصاصها من العناصر المغذية التى لا تتحرك بالأرض وعلى ذلك فإن أختلاف تفرع الجذور وكثافتها يؤدى الى الأختلاف فى الأحتياجات الغذائية للنباتات المختلفة من العناصر التى لا تتحرك بالأرض . أمــا

بخصوص العناصر التى تتحرك بالأرض فإن تأثير تفرع الجذور وكثافتها يكون ثانويه لأن الجذور تمتص هذه العناصر من المنطقة المحيطة بها كما أن تحرك هذه العناصر مع الماء يتجه نحو منطقة أمتصاص الجذور ، فالعامل الذى يقرر الأحتياجات الغذائية من هذه العناصر هو مقدار المحصول والنسبة المئوية من هذه العناصر فيه وحاصل ضربهما (المحصول × النسبة المئوية) يعطى المقدار الواجب أمتصاصه من كل من هذه العناصر حتى يمكن الحصول على أعلى محصول أى أن العناصر الغذائية القادرة على الحركة تتبع رأى ليبج فى أنه يجب توفير مقدار معين منها حتى يمكن أنتاج المحصول الأعلى أما فىحالة العناصر التى لا تتحرك بالأرض فإذا أفترضنا أن تركيزها متجانس فى الأرض كلها فإن منطقة تلامس الجذور مع الأرض – منطقة الأمتصاص – لا تمثل غير نسبة ضئيله من الأرض. ولاتحتوى غير جزء من العنصر بالأرض وزيادة نمو الجذور تعطى جذورا جديدة تتخلل منطقة أمتصاص جديدة تحتوى على العنصر بنفس التركيز.

وتركيز العنصر فى الأرض فى هذه الحالة يمكن أعتباره الأحتياجات الغذائية لهذا النبات من العنصر والتغير فى المحصول – بزيادة نمو الجـذور لايغير هذه الأحتياجات الغذائية الأرضية .

ينتهى براى من ذلك الى :

١. ليست جميع العناصر المغذية خاضعة لقاعدة الكفاية النسبية التى أفترضها متشرلش وباول ، بل يمكن تطبيقها فقط على العناصر قليلة الحركة أما العناصر القادرة على الحركة فتتبع قانون " العامل المحدد" .
٢. تتغير " م" حسب العوامل التى تغير قدرة النبات على أمتصاص العناصر المغذية ولذا يجب أن تتغير " م" حسب نوع تفرع الجذور أى نوع النباتات وحسب المسافة بين النباتات .

٣. اذا كانت العناصر المغذية القادرة على الحركة والتى تتبع قانون العامل المحدد غير متوفرة فإنها تحدد قدرة النبات على أرسال جذوره الى حيث يستطيع أمتصاص العناصر غير القادرة على الحركة ولذا فإن "م" بالنسبة لهذه العناصر تتغير حسب المقدار الموجود من العناصر المتحركة ومدى كفايتها للنبات .

تتغير " م" أيضا حسب نظام (نمط) توزيع العنصر المغذى بالأرض والصورة Form التى يوجد بها .

أستخدام معادلة متشرلش :

المعادلة لو(أ – ص) = لوأ – م س أستنتجت من تجارب فى زرعات رمليه، فالمقدار "س" يعبر عن كل الكمية من العنصر المغذى المختبر أما فى حالة أستعمال أرض عادية ، فهذه الأرض تحتوى عادة على مقدار من العنصر المغذى، فإن كان المحصول الناتج "ص" فى هذه الحالة فإنه ناتج عن وجود مقدار من العنصر المغذى الأصلى ، ولنفرض أنه " ب" وما قد يضاف الى الأرض من هذا العنصر فى صوره سماد " س" وتصبح المعادلة :

لو (أ – ص) = لو أ – م (ب + س)

ويلاحظ أن " ب" فى هذه الحالة هى ما تحتويه الأرض من العنصر المغذى معبرا عنه بوحدات من السماد المضاف " س" أو هى تـقـدير لمحتويات الأرض من هـذا العنصر كما لوكان فى صورة السماد المضاف ، والأشتراك بين "ب" و "س" فى معامل الأستفادة " م" يفسر على أساس هذا الفرض .

ويرى متشرلش أن "م" ثابتة بالنسبة لكل عنصر غذائى بصرف النظر عن أختلاف الأرض أو النبات أو ظروف النمو. وقد قدرها لكل من النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم .

ومن التجارب الحقليه – أو القصارى – يقدر متشرلش " أ " وهو المحصول الأعلى فى حالة توفر جميع العناصر بما فيها العنصر المختبر "ص" هو المحصول الناتج فى حالة عدم أضافة العنصر السمادى (س = صفر) أى المحصول الناتج في وجود مقدار العنصر بالأرض فقط أى " ب" وحدة من العنصر ولذا تكون المعادلة: لو(أ – ص) = لو أ – م ب ويحسب متشرلش قيمة ب من معرفة " أ " و " ص" ويعتبرها مقياسا لخصوبة الأرض فى هذا العنصر.

ولما كانت معرفة المحصول الأعلى " أ " غير سهلة لأننا نستطيع أن نؤكد أن الأضافة من العنصر السمادى المختبر هى التى تعطى هذا المحصول الأعلى فالطريقة الحسابية لتقدير المحصول الأعلى التى استخدمها متشرلش هى كما يلى:

تجرى تجربة باضافة كميات من العنصر المغذى المختبر بحيث أن الفرق بين هذه الكميات تكون الوحدة أى س$_{١}$=١ و س$_{٢}$ = ٢ وحدة و س$_{٣}$ = ٣ وحدات وينتج عن ذلك :

لو (أ – ص$_{١}$) = لو أ – م س$_{١}$ – م ب [١]

لو (أ – ص$_{٢}$) = لو أ – م س$_{٢}$ – م ب [٢] وبطرح [١] من [٢]

، لو أ – ص$_{٣}$ = لو أ – م س$_{٣}$ – م ب

لو (أ – ص$_{٢}$) – لو (أ – ص$_{١}$) = م (س$_{٢}$ – ب) – م (س$_{١}$ – ب)

∴ لو (أ – ص$_{٢}$) – لو(أ – ص$_{١}$) = م (س$_{٢}$ – س$_{١}$)

لو (أ – ص$_{٢}$) – لو (أ – ص$_{١}$) = لو أ – ص$_{٣}$ – لو(أ–ص$_{٢}$) – م(س$_{٢}$ – س$_{١}$)

$$\therefore \frac{\text{أ} - \text{ص}_{٢}}{\text{أ} - \text{ص}_{١}} = \frac{\text{أ} - \text{ص}_{٣}}{\text{أ} - \text{ص}_{٢}}$$

∴ (أ – ص$_{٢}$)^{٢} = (أ – ص$_{٣}$) (أ – ص$_{١}$)

∴ ٢ أص٢ = ــ أص١ ــ أص٢

∴ أ^{٢} − ٢أص٢ + ص^{٢}٢ = أ^{٢} − أص١ −أص ٣ + ص١ ص٣

أ = (ص^{٢}٢ ـ ص١ ص٣) / (٢ ص٢ ــ ص١ ــ ص٢)

وقيم " ص" معروفة من التجربة ولذا يمكن معرفة " أ " ومنها يمكن حساب " ب " حيث :

لو (أ − ص) = لو أ − م ب

∴ ب = (لو (أ − ص) − لو أ) / م

وبالنسبة لمتشرلش فقيمة "م" ثابتة معروفة لكل عنصر أما فى حالة الدراسات التى لا تعرف قيمة " م " منها فتحسب :

م = (لو (أ − ص١) − لو (أ − ص٢)) / (س٢ − س١)

وتوجد طرق أخرى تعتمد على نظرية المربعات الصغرى وتدخل فى الحساب جميع نتائج التجربة وليس متوسطاتها وهو التى أستخدمها متشرلش .

من معرفة " ب " يمكن معرفة المحصول " ص " الذى ينتج عند أضافة "س " وحدة من العنصر السمادى بالأرض كما لو كان هذا المقدار فى صورة السماد المضاف ، وقيمة (م) التى تعتبر معامل كفاءة العنصر السـمادى مشتركة بين كل من (ب) و (س) لانهما معتبرتان متساويتى الصلاحية فمن الطبيعى أن تكون (م) واحدة لكل منهما .

وفى أستعمال Bray للمعادلة استخدم قيمة اختبار خصوبة الارض فى العنصر المقدرة كيميائيا بدلا من قيمة (ب) المحسوبة وتحولت المعادلة الى :

ص = أ (١-١٠- م١ ب١- م س)

ومن الواضح أن (م١) تختلف عن (م) لان الاولى معامل كفاءة صورة معينة من صور العنصر المختبر هي التى قدرت كيميائيا و (م١ب١) هنا تعبر عن مقدار الفوسفور الارضى الفعال فى تغذية النبات ، وفى التجربة الواحدة من الضرورى أن تتساوى (م ب) و(م١ب١) . بأعتبارأن كلا من المقدارين يمثل مقدار العنصر الفعال بالأرض .

واذا كانت الأرض تحتوى على عدد من الصور الكيميائية من العنصر المختبر التى تساهم فى تغذية النبات أى (ب أ) ، (ب ب) مثلا وأن لكل من هذه الصور الكيميائية معامل كفاءة (م١ وم ب) مختلف عن الآخر فمن الضرورى أن تكون :

م ب = م١ب١ + م ب ب ب

وبصورة عامة عند وجود (ن) صورة من العنصر المختبر بالأرض لكل منها معامل كفاءة خاص تكون .

م ب = م١ب١ +م ب ب ب + . . . + م ن ب ن

وفى قطاع الأرض قد تختلف كفاءة العنصر الغذائى حسب عمق الطبقة لأختلاف كثافة الجذور مثلا فى الطبقة السطحية عنها فى الطبقات السفلى ، فاذا كانت الصورة بأ موجودة فى طبقات من أ الى ك ، ولكل طبقة منها معامل كفاءة خاص فإن القيم الفعالة من ب أ تكون :

ب ا١ م ا١ + ب ا٢ م ا٢ + ب ا ك م ا ن

وكذلك الحال بالنسبة الى ب ب وبقية الصور وتكون :

م ب = م ا١ ب ا١ + م ا٢ ب ا٢ + . . . + م ا ك + ب ك +

م ب١ ب ب١ + م ب ك ب ب ك + م ن١ ب ن١ + م ن ك ب ن ك

حيث (١) الى (ن) ترمز الى صور العنصر و (أ) الى (ك) ترمز الى طبقات التربة .

التقدير الكمى للكفاءة النسبية لصور العنصر المختبر

من الناحية التطبيقية قد لايكون ادخال كل هذه التفاصيل ميسورا أو مطلوبا ، ولكن قد يكتفى بادخال الصور الهامة من العنصر فى المعادلة ، فمثلا فى حالة الفوسفور اذا اعتبرنا أن الفوسفور المدمص أو المتبادل الذى يمكن استخلاصه بمحلول فلوريد الامونيوم والفوسفور الذى يمكن استخلاصه بحامض الكلوردريك المخفف هما الصورتان الارضيتان الهامتان فى مد النبات بحاجته من الفوسفورفى المعادلة التى تعبر عن استجابة النبات الى المقادير الموجودة من هاتين الصورتين ومن السماد المضاف تكون :

$$ص = ا \left(١ - ١٠^{- م_١ ب_١ - م_٢ ب_٢ - م س} \right)$$

حيث أن (١) تشير الى الفوسفور المتبادل و (٢) الى الفوسفور الذائب فىالحامض و(س) هى السماد المضاف . و ($م_١$) و (م) وم٢ هى معامل كفاءة كل من الصور الثلاث على التوالى ، ومقارنة كل منها بالأخرى يمكن أعتبارها مقارنة لكفاءة الصور الثلاث لتغذية النبات فى التجربة التى استنتجت منها قيم (م).

وتكون كفاءة الفوسفور المتبادل : سوبر الفوسفات المضاف = $\frac{م_١}{م}$

وكفاءة الفوسفور الذائب فى الحامض : سوبر الفوسفات المضاف = $\frac{م_٢}{م}$

والمقارنة الكمية بين كفاءة الصور المختلفة من العنصر المختبر يمكن تحقيقها ايضا بمقارنة وحدة باول Baule unit من كل صورة من الصورالأخرى، فالمعروف أن وحدة باول هى مقدار العنصر اللازم لأنتاج نصف المحصول الأعظم .

وفى المثال السابق كانت وحدة باول Baule unit من كل من :

سوبر الفوسفات	١١٢ رطل / فدان
الفوسفور المتبادل	١٥٤ رطل / فدان
الفوسفور الذائب فى الحامض	٣٦٨٦ رطل / فدان

فكل رطل من الفوسفور المضاف $\frac{١٥٤}{١١٢}$ = ١,٣٧ رطل فوسفور مدمص .

وكل رطل من الفوسفور المضاف $\frac{٣٦٨٦}{١١٢}$ = ٣٢,٩ رطل فوسفور ذائب فى الحامض .

ومقارنة الكفاءة باستعمال قيم (م) حيث كانت م = ٠,٠٠٦١٧

، م١ = ٠,٠٠٤٥ ، م٢ =٠,٠٠٠١٨

كفاءة السوبر فوسفات : الفوسفور المدمص $\frac{٠,٠٠٦٢}{٠,٠٠٤٥}$ = ١,٣٧ مرة .

كفاءة السوبر فوسفات : الفوسفور الذائب فى الحامض $\frac{٠,٠٠٦١٧}{٠,٠٠١٨}$ = ٣٢,٨ مرة .

والواقع أن العلاقة بين قيمة (م) ووحدة باول توضح ذلك :

وحـــدة باول = $\frac{٠,٣٠١}{٠,٤٢٤٣\ م}$ حيث (٠,٤٣٤٣ = لو غريتم هــ)

والمقارنة الكمية لكفاءة صور العنصر المغذى مع بعضها أو تحت ظروف مختلــفة وســيلة هــامة تعطى الباحــث القدرة على التعــبير الكمى بدلا من التعبيرالوصفى شائع الأستعمال فى دراسات استجابة النبات للتسميد . فاذا كان تغير الظروف يؤدى الى تغير كفاءة العنصر المختبر فلابد أن ينعكس ذلك على قيمة (م) ومقارنة قيم (م) تحت الظروف المختلفة تعطى تقديرا كميا لأثر هذه التغيرات .

ونورد فيما يلى بعض الأمثلة لذلك :

فى تجربة لفريد وماكــينزى Mckenzie and Fried استعــملا فيها سوبر فوسفات + متخلفات نباتية (أ)

وسوبر فوسفات + كربونات كالسيوم (ب)

وسوبر فوسفات + سماد بلدى + كربونات كالسيوم (جــ)

ولما كان سوبر فوسفات الكالسيوم المستعمل يحتوى فوسفور ٣٢ المشع فقد أمكن تقدير نسبة الاستفادة من سوبر فوسفات الكالسيوم تحت الظروف الثلاثة المشار اليها .

وبأستعمال نتائجهما أمكن التعبير عنها فى صورة معادلة متشرلش كما يأتى :

فى الحالة (أ) : لو (٢٢,٩ – ص) = لو ٢٢,٩ – ٠٠,٠٢٧٢ (٧٤,٠ + س)

(ب) : لو (٢٢,٩ – ص) = ٢٢,٩ – ٠٠,٠٢٣ (٦٧,٦ + س)

(جــ) : لو (٢٢,٩ – ص) = ٢٢,٩ – ٠٠,٠٣٥ (١٠١ + س)

ومقارنة قيم (م) فى المعادلات الثلاث تشير الى تغيرات طفيفة فى كفاءة سوبر فوسفات الكالسيوم نتيجة لأضافة المتخلفات أوالجير أو السماد + الجير .

وأوضحت تقديرات نسبة الاستفادة من السماد ما يأتى :

فى حالة (أ) : ٢٥,٦ %

والحالة (ب) : ٢٧,٩ %

والحالة (جـ) : ٢٥,٧ %

وهى أيضا تغيرات طفيفه مما يشير الى اتفاق الطريقتين فى نتائجهما .

مقارنة الكفاءة النسبية للسماد

تحت ظروف نمو مختلفة

مقـــارنة أثر اضـــافات النتروجين على الكفاءة النســبية لســوبر الفوسفات والفوسفور الارضى .

أجريت تجربة القصارى باستخدام عينة من أرض مريوط الغنية بكربونات الكالسيوم وأضيف الى الأرض ٥٠ مجم بو لكل قصرية ، وكانت :

معاملات الفوسفور : صفر - ١٣-٢٦ -٣٩ - مجم فو / قصرية .

ومعادلات النتروجين : صفر - ٣٠ -٦- ٩٠ مجم ن / قصرية .

وقد أضيفت نترات الكالسيوم فى صورة محلول بعد الزراعة بثلاثة أسابيع أما الفوسفور فقد خلط سوبر الفوسفات خلطا جيدا مع الأرض قبل الزراعة .

وقدر الفوسفور فى النبات بعد ٦ أسابيع وحسب مقدار الفوسفور الممتص من كل معاملة ، وحسبت ثوابت معادلة متشرلش عند كل مستوى من النتروجين المضاف باعتبار أن (أ) أى المقدار الاعظم من الفوسفور الممتص قد تحقق فى وجود ٣ وحدات نتروجين ، واستخدم هذا الرقم فى حساب ثوابت المعادلة فى معاملات النتروجين الاخرى وكانت المعادلات الناتجة كما يلى فى حالة :

٣ وحدات ن : لو (٥,٢٤٦ – ص) = لو ٥,٢٤٦ – ٠,٠٧٨ ب١ – ٠,٢٧٦٨ س

٢ وحدة ن : لو (٥,٢٤٦ – ص) = لو ٥,٢٤٦ – ٠,٠٤٢٣ ب١ – ٠,٢٦٧٥ س

١ وحدة ن : لو (٥,٢٤٦ – ص) = لو٥,٢٤٦ – ٠,٠٣٦٧ ب١ – ٠,١٧٦٨ س

صفر وحدة ن : لو (٥,٢٤٦ – ص) = لو ٥,٢٤٦ – ٠,٠٠٨٦ ب١ – ٠,٠٩٦٤٥ س

ب١ هى مقدار الفوسفور المقدربطريقة بيكربونات الصوديوم مجم فو/قصرية بالأرض ، (س) هى وحدات من سوبر فوسفات الكالسيوم على صورة فوسفور ، كل وحدة ٠,٥ مجم فو / كجم أرض .

ومقارنة معاملات (م) فى المعادلة الواحدة أى قيمة (م) للسماد مع قيمة (م) للأرض فى المعادلة الواحدة تعطى الكفاءة النسبية للفوسفور الأرضى منسوبة الى كفاءة السماد .

ومقارنة (م) للسماد فى كل معادلة بنظيرتها فى المعادلات الأخرى تعطى كفاءة السماد منسوبة الى بعضها تحت معاملات نتروجين مختلفة وكذا الحال بالنسبة الى (م) الفوسفور الأرضى تحت معاملات نتروجين مختلفة .

ويتضح من هذه المقارنات ما يأتى :

١.إضافة وحدة نتروجين واحدة زادت كفاءة الفوسفور الأرضى ٤,٢٤٨ مرة بالنسبة الىعدم اضافة نتروجين ، أما اضافة ٣ وحدات نتروجين فقد زادت كفاءة الفوسفور الأرضى ٩,١١ مرة بالنسبة الى عدم اضافة نتروجين .

٢.أثر اضافة النتروجين على كفاءة السماد الفوسفورى كانت أقل فاضافة ٣ وحدات نتروجين زادت كفاءة السماد الفوسفورى ٢,٨٧١ مرة بالنسبة الى عدم اضافة نتروجين .

وعند مقارنة كفاءة الفوسفور الأرضى مع الفوسفور السمادى بعد توحيد وحدات (ب) و(س) وقد ذكرنا أن (ب١) هى مجم فو/قصرية بينما (س) وحدات كل منها ٦,٥ مجم/١كجم أو بمعنى آخر ١٣ مجم/قصرية وبالتالى يقتضى قسمة معاملات الكفاءة الخاصة بالسماد على ١٣ لنحصل على كفاءة ١ مجم/قصرية ففى حالة إضافة :

٣ وحدات (ن) مثلا تكون (م) بالنسبة للسماد = ٠,٠٢٧٦٨ / ١٣ = ٠,٠٢١٣

وهى قيمة تقل عن قيمة ٠,٠٧٨١ الخاصة بالفوسفور الأرضى أى أن الفوسفور الأرضى ذو كفاءة تزيد ٣ مرات عن كفاءة الفوسفور السمادى ، وليس ذلك أمرا غريبا ، فالسماد فى هذه الأرض يتحول الى صورة مرسبة قليلة الصلاحية ، وقد أوضح التحليل الكيميائى بأستخدام طريقة البيكربونات أن ثلث السماد فقط أمكن استخلاصه من الأرض بعد أضافته اليها .

وقد أوضحت الطريقة أن أثر النتروجين على كفاءة الفوسفور الأرضى أكثر بكثير من أثره على كفاءة الفوسفور السمادى ، وقد أكدت ذلك دراستنا بأستخدام الفوسفور ٣٢ .

(ب) وبنفس الطريقة أمكن تقدير الكفاءة النسبية لصور مختلفة من النتروجين السمادى أضيفت الى الأرض بطرق مختلفة :

نفذت هذه الدراسة فى رمل مغسول أى لايحتوى على مصدر نتروجين وأضيف الى نباتات الذرة محلول مغذ خال من النتروجين الذى أضيف فى صورة كبريتات أمونيوم بمعدلات : صفر ، ١٥ ، ٣٠ ، ٤٥ مجم ن /كجم رمل .

وبالطرق الآتية :

١. أضيف السماد كله مره واحدة بعد خف النباتات .
٢. قسم مقدار السماد بكل معدل الى ٣ أقسام ، أضيف القسم الاول وهو ربع المعدل، الباقى بعد عشرة أيام أخرى .

٣.أضيف السماد مع وزن مكافئ له من الجبس وأضيف كله بعد الخف .
٤.خلط الجبس مع السماد والماء جيدا ، قسم الى كرات صغيرة وجففت هذه الكرات فى الفرن على درجة ٧٠°م وأستعملت الكرات بعد الخف .
٥.طحنت كرات مماثلة للمستعملة فى ٤ وأضيفت كمسحوق بعد الخف .

وزنت النباتات – السوق والجذور – بعد نحو ٥٠ يوم وقدر النتروجين وحسب النتروجين الكلى الذى أمتصته النباتات من كل معاملة وحسبت ثوابت معادلة متشرلش بأعتبار (أ) هى مقدار النتروجين الممتص المحسوب من نتائج المعاملة التى أعطت أعلى النتائج وكانت المعادلات كما يأتى :

معاملة (١) ص= ٠,٨١٣ (١–١٠–٠,٨٤٥ × ٠,٣٢٩ –٠,٠٥٧٢ س)
معاملة (٢) ص= ٠,٨١٣ (١–١٠–٠,٨٤٥ × ٠,٣٢٩ –٠,٠٧٨٤ س)
معاملة (٣) ص= ٠,٨١٣ (١–١٠–٠,٨٤٥ × ٠,٣٢٩ –٠,٠٥١٤ س)
معاملة (٤) ص= ٠,٨١٣ (١–١٠–٠,٨٤٥ × ٠,٣٢٩ –٠,٠٨٤٥ س)
معاملة (٥) ص= ٠,٨١٣ (١–١٠–٠,٨٤٥ × ٠,٣٢٩ –٠,٠٥٥٩ س)

حيث ٠,٨١٣ جم ن/قصرية هى المقدار الأعلى الممتص فى نباتات الذرة و ٠,٣٢٩ مجم ن هى مقدار النتروجين الموجود أصلا بحبوب الذرة والرمل معبرا عنها بوحدات (س) السماد المضاف حيث كل وحدة س=١٧٨,٥٧مجم ن/قصرية.

ومن مقارنة معاملات الكفاءة (م) بكلى معادلة بقرينتها فى المعادلة الخاصة بالمعاملة (٤) نجد أن كفاءة كبريتات الأمونيوم فى :

المعاملة (١) منسوبة للمعاملة (٤) = ٠,٠٥٧٢٠ / ٠,٠٨٤٥ = ٠,٦٧٧

المعاملة (٢) منسوبة للمعاملة (٤) = ٠,٠٧٨٤ / ٠,٠٨٤٥ = ٠,٩٢٧

٠,٠٨٤٥
المعاملة (٣) منسوبة للمعاملة (٤) = -------- = ٠,٦٠٩
٠,٠٥١٤

٠,٠٥٥٩
المعاملة (٥) منسوبة للمعاملة (٤) = -------- = ٠,٦٦١
٠,٠٨٤٥

❖ حســاب مســاهمة الصور المختلفة للعنصر فى تغــذية النبات من معادلة متشرلش :

ص = أ (١-١٠ ^-م^ (ب + س)

تعتبر (ب) و(س) متساويتى الصلاحية ولذلك فان (م) معامل الكفاءة لهما مشترك.

أى أن النبات ينمو فى بيئة فيها المقدار (ب) والمقدار (س) من العنصر المغذى المختبر والمتســاوى الصلاحية وبالتالى فان النبات يمتص حاجته من العنصر من المصدرين (ب) ، (س) حسب مقدار كل منهما وتكون نسبة ما يحتويه النبات من السماد المضاف (س) الى ما يحتويه من المصدر الأرضى (ب) هى س : ب ونسبة ما يحتويه من السماد المضاف الى جملة ما يحتويه من العنصر هى س : ب + س .

ويمكن بضرب
س
------ × جملة ما يحتويه النبات
ب + س
، حساب ما يحتويه النبات من العنصر المضاف تحت الأختبار .

وفى حالة المعادلة التى أستعمل فيها أكثر من صورة كيميائية من العنصر المختبر أى ($ب_١$) ، ($ب_٢$) والسماد س كانت المعادلة :

ص = أ (١-١٠)^-م^ و ص = أ (١-١٠ ^-م أ ب م - ١٠ : س^)

وتكون مساهمة السماد فى هذه الحالة :

$$\frac{\text{م س}}{\text{م س} + \text{م}_{١}\,\text{ب}_{١} + \text{م}_{٢}\,\text{ب}_{٢}} \times \text{جملة ما يحتويه النبات من العنصر ومساهمة الصورة}$$

$$\text{ب}_{١} = \frac{\text{م}_{١}\,\text{ب}_{١}}{\text{م س} + \text{م}_{١}\,\text{ب}_{١} + \text{م}_{٢}\,\text{ب}_{٢}} \times \text{جملة ما يحتويه النبات من العنصر ومساهمة الصورة}$$

$$\text{ب}_{٢} = \frac{\text{م}_{٢}\,\text{ب}_{٢}}{\text{م س} + \text{م}_{١}\,\text{ب}_{١} + \text{م}_{٢}\,\text{ب}_{٢}} \times \text{جملة ما يحتويه النبات من العنصر .}$$

وفى مقارنة للنتائج التى استعمل فيها الفوسفورالمشع أوضحنا أن أستعمال الطريقة الحسابية السابقة تتفق مع نتائج استعمال الفوسفور المشع وكذلك استخدمت نفس الطريقة فى حساب مساهمة السماد المضاف فى عدد من التجارب التى قام بها باحثون مختلفون باستعمال النظائر المشعة وأوضحنا أن النتائج متقاربة.

وطريقة حساب مساهمة الصور المختلفة للعناصر فى تغذية النبات تعطى الباحث القدرة على تفهم بعض النواحى فى تغذية النبات لم تكن ميسورة له من قبل.

وقد استعملت الطريقة لدراسة أثر اضافات كل من الفوسفور والنتروجين على تركيب النبات الكيميائى وعلى المقدار الذى يمتصه النبات من السماد المضاف من كل منهما ومن الأرض ، ويمكن تلخيص نتائج هذه الدراسة فيما يلى :

١. أن إضافات النتروجين لم يكن لها أثرعلى النسبة المئوية للفوسفور بالنبات بينما إضافات الفوسفور أدت الى بعض النقص فى نسبة النتروجين فى النبات.
٢. لوحظ أن النتروجين الذى امتصه النبات فى حالة عدم اضافة سماد نتروجينى تعادل تقريبا النتروجين الأرضى (ب ن) فى المعادلة .

٣. الأضافة الاولى فقط من الفوسفور زادت مقدار النتروجين الذى امتصه النبات فى الأرض .

٤. الفوسفور الذى امتصه النبات فى حالة عدم اضافة سماد فوسفورى يعادل جزء من الفوسفور الأرضى (ب فو) فى المعادلة .

٥. امتص النبات حوالى ٢٠ – ٥٠% من السماد الفوسفورى المضاف .

٦. أدت اضافات النتروجين الى زيادة مقدار الفوسفور الممتص .

معادلة سبلمان Spillman

كما حاول ليبج ومتشرلش التعبير عن العلاقة بن النبات وعوامل النمو وخاصة العناصر الغذائية بمعادلات رياضية حاول Spillman فى وزارة الزراعة الأمريكية تحقيق نفس الهدف سنة ١٩٢٤ فاعتبر سبلمان أن كل زيادة فى المحصول ناتجة عن اضافة ثابته من العنصر الغذائى منسوبة الى الزيادة الناتجة عن الأضافة السابقة لها تعطى نسبة ثابته ، فمثلا الزيادة فى المحصول الناتجة عن اضافة الوحدة الرابعة من العنصر الغذائى منسوبة الى الزيادة الناتجة عن الوحدة الثالثة تعطى نسبة تساوى النسبة الناتجة عن الزيادة الناتجة من اضافة الوحدة الثالثة الى الزيادة الناتجة عن الوحدة الثانية ، وبذلك تكون هذه الزيادة متوالية هندسية ذات أساس ثابت هو النسب المشار اليها ويكون مجموع هذه الزيادات هو مجموع المتواليه الهندسية (م) حيث (م) المجموع ، (ك) الحدالاول ، (ن) عدد الحدود ، (ر) الاساس .

$$م = \frac{ك\ (١ - ر^{ن})}{١ - ر} \qquad (١)$$

ولما كانت المتسلسلة متناقصة لان الزيادات نفسها تتناقص فإن (ر) تكون أقل من ١ وتقل قيمة (رن) بزيادة (ن) ونصل الى الصفر عندما تقترب من لانهاية .

اذا اعتبرنا (ج) تساوى المجموع حتى لانهاية ينتج :

ك
جـ = ---------
١ – ر

وبالتعويض فى المعادلة (١) بقيمة ك = جـ (أ – رن) ينتج م= جـ أ – رن

وبتوقيع (م) ، (ن) على رسم بيانى مع التعويض عنهما بالقيم ص = م و س = ن

تنتج المعادلة ص = جـ (ا – رس)

والمعادلة ص = جـ (ا – رس) تعطى الزيادة فى المحصول نتيجة استعمال (س) وحدة من العنصر المغذى وللحصول على المحصول نفسه الناتج عن استعمال العنصر المغذى يحول سبلمان المعادلة كما يأتى .

اذا فرض أن (ص = صفر) المحصول بدون سماد (ص س) المحصول باستعمال (س) وحدة و (ا) المحصول الأعلى الذى يمكن الحصول عليه باستعمال السماد أى .

ص = ص س ص صفر ، (جـ = ا – ص صفر)

وبالتعويض عن هذه المقادير فى المعادلة ص = جـ (ا – رس)

ص س – ص صفر =(ا – ص صفر) (ا – رس) = ا – ص صفر – (ا – ص صفر) رس

∴ ص س = ا – جـ ر س

ولما كانت (س) هنا هى مقدار العنصر المغذى كله فان ص صفر = صفر

وتصبح ا = جـ وتتحول المعادلة الى : ص س = ا (ا – ر س)

وللتعبير عن المحصول الناتج عن العناصر المغذية الثلاث ن ، فو ، بو يرى سبلمان أن المعادلة تكون كما هى الحال فى معادلة متشرلش :

ص ن وفو وبو = ا ن و فو و بو (ا – رن) (١ – ر فو) (١ – ر بو)

حيث ن ، فو ، بو هى جملة مقادير النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم الموجودة ، أى المضافة أو الموجودة أصلا بالأرض .

وتنتقد معادلتا متشرلش وسبلمان بأنهما لاتصلحان للتعبير عن استجابة النباتات لكميات كبيرة من العنصر الغذائي ، اذ يلاحظ أن الأضافات العالية من السماد النتروجيني مثلا قد لاتزيد النمو بل على العكس قد تقلل المحصول الناتج ، فالمعادلات الأسية فى هذه الحالة لاتصلح للتعبير عن الاستجابة السلبية ، وقد قام متشرلش باجراء تعديل فى المعادلة حتى يمكنها أن تؤدى هذا الغرض ويظهر هذا العيب بوضوح عند استعمال معادلة متشرلش أو سبلمان فى حساب أوفق اضافة اقتصادية من السماد ، فأرقام التجربة التى تستعمل فى حساب ثوابت المعادلة لاتوضح فى أكثر الاحيان اتجاه المحصول للنقص ولذا كان حساب الأضافة الاقتصادية من منحنى صاعد الى أعلى باستمرار قد يعطى مقادير كبيرة من السماد ، بينما لو أضيف هذا السماد فعلا فان النبات قد يستجيب بالنقص لا بالزيادة.

وتوجد أنواع أخرى من العلاقات الرياضية للتعبير عن استجابة النبات الى السماد المضاف ومن أكثر هذه المعادلات شيوعا :

١ – معادلة الدرجة الثانية : $ص = أ + ب س + جـ س^٢$

حيث (ص) هو المحصول الناتج و (س) مقدار السماد المضاف و أ و ب و جـ مقادير ثابته تحددها استجابة (ص) الى السماد (س) .

ومن الناحية الرياضية تعتبر (أ) الجزء المقطوع من المحور الصادى وتعبر عن المحصول الناتج بدون اضافة سماد ، وتعبر (ب) عن ميل المنحنى عند نقطه (أ) أى عندما تكون س = صفر وتعتبر (جـ) مقياسا للاتجاه نحو الانخفاض عندما تكون بالسالب ، أما اذا كانت موجبة فان المنحنى يتجه الى أعلى .

ويمكن حساب ثوابت المعادلة بطريقة المربعات الصغرى المعروفة فى الاحصاء ولكن توجد طريقة حسابيه مبسطة فمن الشكل رقم (٣) الناتج من توقيع قيم نواتج التجربة تكون : ا = ك

$$ب = \frac{٤ل - م - ٣ك}{٢}$$

$$\text{و جـ} = \frac{\text{م + ك − ٢ل}}{٢}$$

وتتبع هذه الطريقة فى التجارب التى تكون فيها معدلات الاضافة صفر ، ١ ، ٢ وحدة سمادية وتكون (جـ) عادة مقدارا سالبا ، وبذا يتجه المنحنى الى أسفل وذلك طبعا بعد أن يصل الى نهاية عظمى .

وواضـــح أن هذه المعـــادلة تعكس الاستجـــابة الســـالبة للنبات عندما يزداد مقدار السماد المضاف عن قدر معين يختلف حسب ظروف النمو لكل نبات أو لكل أرض أو لكل سماد .

ويكون معدل التسميد الذى يعطى أعلى محصول هو :

$$\text{س أعلى} = - \frac{\text{ب}}{\text{٢جـ}}$$

ولحساب المحصول الأعلى يعوض عن س أعلى فى المعادلة الأصلية ، أو يمكن أستخدام العلاقة الآتية للسرعة :

$$\text{ص أعلى} = \text{١} + \text{ب س أعلى}$$

وزيادات المحصول فوق محصول المقارنة حيث س = صفر وهى قيم (ل) ، (م) فى شكل (٣) إذا وقعت مع اضافات السماد ينتج خط منحنى ينبع من نقطة الأصل .

ويمثل محور السينات الخط المنقط فى الرسم وتختصر المعادلة الى .

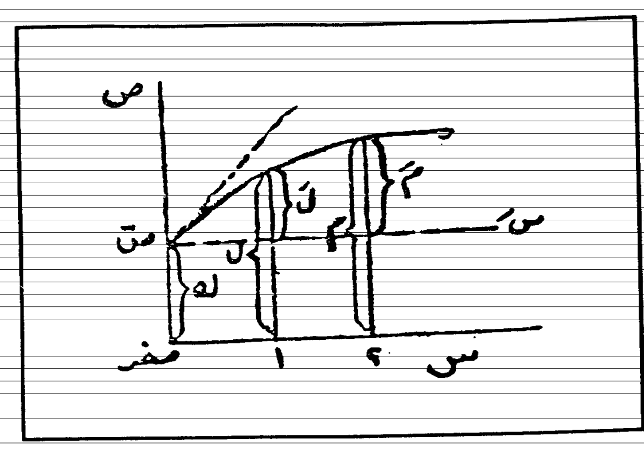
$$\text{ص} = \text{ب س} + \text{جـ س}^{٢}$$

وتحسب (ب) و (جـ) من العلاقتين :

$$\text{ب} = \text{٢ ل} - \frac{\text{م}}{٢}$$

$$\text{جـ} = \frac{\text{مَ}}{٢} - \text{لَ}$$

وسواء أستخدمت معادلة المحصول أو معادلة الزيادات فقيم (ب) و (جـ) والمحصول الأعلى الناتجة من كلا المعادلتين واحدة .



شكل (٣) : منحنى الدرجة الثانية الذى يعبرعن العلاقة بين المحصول السمادى المضاف

وتكون معادلة الدرجة الثانية التى تعبرعن الأستجابة لإضافات سمادين معا – فوسفور ونتروجين مثلا – كما يأتى :

ص = ا + ب١ ن + ب٢ فو + جـ١ ن٢ + جـ٢ فو٢ + د ن فو

حيث (ن) ، (فو) معدل اضافة السماد النتروجينى أو الفوسفورى على التوالى. ، (ا) ، (ب) ، (ب٢) ، (جـ١) ، (جـ٢) ، (د) ثوابت ، (ص) هى المحصول الناتج .

وتحسب قيم الثوابت بطريقة المربعات الصغرى أو بطريقة مبسطة فى حالة (٣) معدلات من كل سماد : صفر –١–٢ وحدة من الجدول التالى حيث (ك) ، (ل) ، (م) .. ،(هـ) قيم متوسطات لمحصول ، (ن) ، (فو) هى مجموع الأعمدة أو السطور على التوالى I١ ، I٢ هى المجاميع المتقاطعة .

وحساب قيمة (ص) الأعلى بأستخدام قيمتى ن أعلى فو أعلى بطريقة سريعة يكون من المعادلة الآتيه :

I١ = ك + فو + ى ، I٢ = م + و + ح

ا = [٢١فو - ٤(ن١ - ن٠) ٤(ن٢ - ن٠) + ٩(I١ - I٢)] / ٣٦

ب١ = [٨(ن١ - ن٠) - ٢(ن٢ - ن٠) - ٣(I١ - I٢)] / ١٢

ب٢ = [٨(فو١ - فو٠) - ٢(فو٢ - فو٠) - ٣(I١ - I٢)] / ١٢

حـ١ = [ن٠ + ن٢ - ٢ن١] / ٦

حـ٢ = [فو٠ - فو٢ - ٢ فو١] / ٦

د = [I١ - I٢] / ٤

وحساب قيمة ص أعلى بأستخدام قيمتى (ن) أعلى و (فو) أعلى بطريقة سريعة يكون من المعادلة :

ص أعلى = ١ + (١ / ٢) (ب١ ن أعلى + ب٢ فو أعلى) .

إستخدام معادلات الدرجة الثانية :

أولا: التعبير الكمى عن أستجابة الحاصلات لإضافات الأسمدة المختلفة وهو المجال الشائع لأستخدام هذه المعادلات ، ويستنتج منه عادة الأضافة التى تعطى أعلى ربح وسيأتى تفصيل استخدام المعادلة فى هذا المجال فى الصفحات التالية .

ثانيا: تقدر الكفاءة النســبية لصور العنصر لمد النبات بحاجته من هــذا العنصر (Balba 1975)&Balba .

استخدمت هذه المعادلة للتعبير عن العلاقة بين الكمية الممتصه من البوتاسيوم (ص) ومقدار البوتاسيوم فى بيئة النمو (س) ، فى صورة نترات بوتاسيوم أو كلوريد بوتاسيوم أوفوسفات بوتاسيوم أو كبريتات بوتاسيوم ونتجت المعادلات الآتية :

ص = ٠,٣٧ + ٠,٠٩٩٤ س – ٠,٠٠١٨٠ س٢

وص= ٠,٣٧ + ٠,٠٨٩٠ س – ٠,٠٠١٦٥ س٢

وص= ٠,٣٧ + ٠,٠٧١٨ س – ٠,٠٠١٥٨ س٢

وص= ٠,٣٧ + ٠,٠٧١١ س – ٠,٠٠١٦٣ س٢

حيث ٠,٣٧ هى مقدار الجزء المقطــوع من المحــور الصادى (ا) ويمثل مقدار البوتاسيوم الممتص فى حالة عدم أضافة بوتاسيوم ، ونلاحظ أنه مقدار مشترك فى المعادلات الأربعة .

ومقارنة قيم (ب) فى المعادلات الأربع تعطى مقارنة كمية لكفاءة أملاح البوتاسيوم بالنسبة الى بعضها فى مد بادرات الشعير بحاجتها من البوتاسيوم .

ويتضح من هذه المقارنة ما يأتى :

كفاءة أمتصاص البوتاسيوم بواسطة بادرات الشعير تحت ظروف التجربة هى:

بو ن ا٣ : بو كل = ٠,٠٩٦٤ : ٠,٠٨٩٠ = ١,١١ مرة

بو ن ا٣ : بو يد٢ فو ا٤ = ٠,٠٩٩٤ : ٠,٠٧١١ = ١,٣٨ مرة

بو ن ا٣ : بو٢ كب ا٤ = ٠,٠٩٩٤ : ٠,٠٧١١ = ١,٤٠ مرة

أو بمعنى آخر كفاءة :

بو ن أ٣	:	بو كل	:	بو يد ٢ فو أ ٤	:	بو٢ كب أ٤
١		٠,٩٠		٠,٧٢٥		٠,٧١٤

ومن الواضـــح أن أستخدام هذه المعـــادلة قـــد مكن من التعـــبير الكمى عن أمتصاص البوتاسيوم بواسطة بادرات الشعير من مصادر بوتاسيوم مختلفة بدلا من مجرد ذكر أن الأمتصاص من نترات البوتاسيوم يزيد عن الأمتصاص من كل من المصادر الأخرى .

كفـــاءة السماد :

يتحدث كثير من الباحثين عن كفاءة السماد ولو أن تعريفا محددا لهذه الكفاءة قلما نجده فيما نشر من دراسات التسميد .

ويمكن القول إن كفاءة السماد هى معدل زيادة المحصول الناتج عن كل وحدة سماد مضاف فعندما يمثل الخط المستقيم العلاقه بين وزن النبات ووحدات السماد يكون معدل زيادة وزن النبات لكل وحدة سماد هو ميل الخط المستقيم وفى حالة التعبير عن هذه العلاقه بمعادلة متشرلش أو صورتها الأسيه :

ص = أ (١ – ١٠^(–م س)) يكون م هى معدل الكفاءة وكذا الحال فى حالة التعبير عن هذه العلاقه بخط منحنى بمعادلة من الدرجة الثانية :

ص = أ + ب س – ب ٢ س^٢

يعتبر أن " ب " ممثله للكفاءة على وجه تقريبى لأن ميل هذا المنحنى غير ثابت بل يتغير حتى يصل الى المحصول الأعلى ثم تتجه الى الأنخفاض وأقترح Voss & Capurro دليل الكفاءة EX فى حالة معادلات الدرجة الثانية :

ص = ب١ + ب س + ب٢ س^٢ كما يلى :

$$^{٢}X_{٢}X + B_{١}B + Y = B_{d}$$

$$EX = \frac{1}{10}\sqrt[2]{B_1^2 - 4B_2Bu}$$

وتتميز هذه الطريقة بأنها تأخذ فى الأعتبار قيمة (ا) أى B. أى قيمة الجزء المقطوع أو المحصول فى حالة عدم أضافة السماد . وقد يختلف هذا الحد من معادلة الى أخرى فضلا عن أدخال المعامل (حـ) أو ب٢ .

وقد طبقنا هذه الطريقة على نتائج تجربة تغذية الشعير بصور مختلفة من أملاح البوتاسيوم التى أشرنا اليها لمقارنة النتائج المتحصل عليها من قيم (م س) دليل الكفاءة النسبية «Ex » والنتائج المتحصل عليها كطريقة تقريبية من مقارنة قيم (ب) فى المعادلات كما أوضحنا وكانت النتيجة :

بو ن أ٣	بو كل	بو يد٢ فو أ٤	بو٢ كب أ٤
١	٠,٩١	٠,٧٧	٠,٧٧

أستخدام المعادلة الأسية (Soliman & Balba) :

ص = ا هـ^{-م س}

تعبر هذه المعادلة عن التناقص فى أوزان النباتات أو أمتصاص العناصر الغذائية نتيجة لتواجد عوامل تؤدى الى هذا التناقص . وقد أستخـدم الكاتب هذه المعـادلة للتعبير الكمى عن تناقص وزن نباتات حشـيشة السـودان نتيجة لتزايد

تركيز أنواع مختلفة من الأملاح فى مــاء الرى وكذا تناقص ، تصـــاص هذه النباتات لعناصر البوتاسيوم والفوسفور والنتروجين .

فى حالة أوزان النبات :

أمكن الحصول على المعادلات الآتية التى تعبر عن أنخفاض وزن حـ .يشة السودان بأضافات متزايدة من أملاح مختلفة كما يأتى :

فى حالة ملح ص كل : ص = ٨١,١٥ هـــ $^{-}$ ٠,٠١٧ س

وفى حالة ملح ص٢ كب أ٤ : ص = ٨١,١٥ هـــ $^{-}$ ٠,٠١٠٧ س

وفى حالة ملح كا كل٢ : ص = ٨١,١٥ هـــ $^{-}$ ٠,٠٣٠٢ س

حيث (ص) هى وزن النباتات الجاف ، (أ) ٨١,١٥ جم هى وزن النباتات بدون وجود أملاح (المحصول الأعظم) ، (هـــ) أساس اللوغاريتم الطبيعى ، (م) هى معدل أنخفاض وزن النباتات و(س) تركيز الملح المستخدم .

ومقارنة قيم (م) توضح أن أنخفاض الوزن الجاف لنباتات حشيشة السودان نتيجة لأستخدام مياه رى بالطريقة التى أستخدمت بها فى التجربة (رى تحت سطحى) وتحتوى أملاح مختلفة كما يأتى :

فى حالة ملح ص كل : ص٢ كب أ٤ : كا كل٢ تعادل ١,٠ : ١,٥٩ : ٢,٨٦

فإستخدام هذه المعـــادلة يمكن التعبير الكمى عن الأضـــرار التى تسببها الأملاح المختلفة بدلا من أن نشير الى أن كا كل٢ أشد ضررا من ص كل وهو تعبير وصفى لايقوم أثر الملحين تقويما واضحا .

وقد سبق أن أشرنا الى تقويم أثر كل من هذه الأملاح كميا على أمتصاص نباتات حشيشة السودان لكل من البوتاسيوم والفوسفور والنتروجين .

إستخدام معادلة الخط المستقيم :

سبق أن أشرنا الى أن العلاقة بين العنصر الغذائى والمقدار الممتص منه بالنبات يمثلها خط مستقيم عندما تؤدى ظروف التجربة الى أستنزاف النباتات النامية للصورة الميسورة له من العنصر الغذائى المختبر .

ويحصل كثير من الباحثين على هذه العلاقة فى دراستهم خصوصا اذا كانت طريقة الدراسة مماثلة لطريقة نيوباور حيث يزداد عدد النباتات - ١٠٠ نبات - بالنسبة لمقدار الأرض التى تنمو فيها هذه النباتات - ١٠٠ جم أرض .

ومن الأمثلة التى نعرضها لتوضح الأستنتاج من معادلات الخط المستقيم الدراسات الآتية :

أولا- تقدير الكفاءة النسبية لصور مختلفة من النتروجين بأستخدام بادرات بادرات الشعير :

أستخدمت أرض مزروعة الجميزة تحتوى على ٨٨,٧ مجم نتروجين لكل ١٠٠ جم أرض وقدر فيها النتروجين المستخلص بواسطة كلوريد البوتاسيوم ووجد أنه ٣,٦ مجم ن/١٠٠ جم أرض ، وعومل جزء من الأرض بحيث أصبح مشبعا بالأمونوم المثبت (ملليمكافئ /١٠٠ جم أرض) وعبئت أوعية نيوباور بمقدار ١٠٠ جم من الأرض المشبعة بالأمونيوم المثبت و بالأرض غير المعاملة بالنسب الآتية :

(أ) - ١٠٠ جم أرض بدون أمونيوم مثبت .

(ب) - ٧٥ مجم أرض بدون أمونيوم مثبت + ٢٥ جم أرض مشبعة بالأمونيوم المثبت تحتوى ١٧,٥ مجم ن .

(جـ) - ٥٠ مجم أرض بدون أمونيوم مثبت + ٥٠ جم أرض مشبعة بالأمونيوم تحتوى ٣٥ مجم ن .

أضيفت نترات الكالسيوم للأوعية بالمعدلات صفر و٢ و٤ و٦ مجم ن / وعاء وكل معاملة مزدوجة مع وجود وعائين من الرمل المغسول ووزعت ١٠٠ حبة من الشعير (بلدى ١١٦) بكل وعاء وتركت لتنمو مدة ٢١ يوما فى وجود ماء يعادل ٧٠ % من السعة الحقلية ثم قدر النتروجين الكلى فى نباتات كل وعاء .

يوضح الجدول رقم (٨) النتروجين الذى أمتصته النباتات بزيادة معدل أضافة نترات الكالسيوم وكذا بزيادة الأمونيوم المثبت . وبطرح الناتج فى الصف الخامس (النتروجين الكلى بدون أضافة أمونيوم مثبت) من النتائج المقابلة بأستخدام أمونيوم مثبت (٣٥,١٧٠ مجم ن) فى الصف العاشر والخامس عشر على الترتيب ، ينتج مقدار الزيادة فى النتروجين الممتص كنتيجة لزيادة الأمونيوم المثبت بالأرض .

ويمكن وضع هذه النتائج فى صورة معادلة الخط المستقيم .

ص = ٥,٥٢ + ٠,٢٧ ب   [١]

حيث (ص) مقدار النتروجين الممتص و(ب) مقدار النتروجين المثبت وذلك بدون أضافة نترات الكالسيوم .

ومن المعادلة (١) يمكن حساب مقدار ما تحتويه الأرض أصلا (طريقة دين البيانية) بوضع ص = صفر وينتج أن الأرض تحتوى ما يعادل ٢٠,٥ مجم ن لكل ١٠٠ جم أرض فى صـــورة أمـــونيوم مثبت ، وقد سبق أن أوضحنا أن الأرض تحتوى ٨٥,١ (٨٨,٧ – ٣,٦ مجم ن) غير مستخلص بكلورور البوتاسيو وبالتالى فان هذا المقدار يعادل ٢٠,٥ مجم ن أى أن كل ٤,١٨ مجم نتروجين أرضى يعادل ١ مجم ن مثبت .

ومن معادلة (١) نلاحظ أن مقدار النتروجين الممتص من النتروجين الأرضى (عندما تكون ب = صفر) هو ٥,٥٢ مجم وبالتالى فإن معدل أمتصاص النتروجين الأرضى = $\frac{٥,٥٢}{٨٥,١}$ = ٠,٠٦٥ مجم ن / ١ مجم نتروجـــين أرضـــى (أ)

وبذا يمكن كتابة المعادلة (١) كما يأتي :

ص = ٠,٠٦٥ أ + ٠,١٧ ب

جدول (٨) : مقدار النتروجين الذى أمتصته بادرات الشعير

	مقدار النتروجين المضاف فى صورة نترات كالسيوم مجم/ ١٠٠ جم أرض			
	صفر	٢	٤	٦
بدون أمونيوم مثبت				
الوزن الجاف للنباتات جم/وعاء	٢,٦٠	٢,٦٥	٢,٧٠	٢,٧٧
ن كل ، مجم / وعاء	٥,٦	٩,٣	١٢,٩	١٧,٦
ن من الأرض مجم / وعاء	٥,٦	٧,٣	٨,٩	١١,٦
زيادة من الأرض لأضافة ن أ٣	–	١,٧	٣,٣	٦,٠
١٧,٥ مجم أمونيوم مثبت				
الوزن الجاف ، جم / وعاء	٢,٧٣	٢,٧٩	٢,٨٢	٢,٩١
ن كلى ، جم / وعاء	١٠,١	١٥,٥	٢١,٩	٢٩,٦
ن من المثبت ، مجم / وعاء	٤,٥	٦,٢	٩,٠	١٢,٠
زيادة المثبت لأضافة ن أ٣	–	١,٧	٤,٥	٧,٥
٣٥ مجم ن أمونيوم مثبت				
الوزن الجاف ، جم / وعاء	٢,٨٥	٣,٠٠	٣,٠٠	٢,٩٠
ن كلى ، جم / وعاء	١٥,٣٠	٢٠,٨٠	٢٩,١٠	٢٧,٧٠
ن من المثبت ، مجم / وعاء	٩,٥	١١,٥	١٢,٢	–
زيادة المثبت لأضافة ن أ٣	–	٢,٠	٦,٧	–

– أقل فرق معنوى لقيم النتروجين الكلى ٠,٢٩ مجم ن / وعاء

– طرح ٥٣,١ مجم ن / وعاء فى النباتات النامية على الرمل المغسول بدون أضافة نترات .

- Balba & Shabana (1971).

وبأعتبار أن نتروجين النترات يمتص كله فى طريقه نيوباور لأستخدام مقدار صغير من الأرض مع عدد كبير من البادرات ، يصبح معدل أمتصاص النترات ١,٠ أى ١٠٠% تحت هذه الظروف ، وبطرح مقدار ما أضيف من النتروجين يتضح أن المقدار الممتص من النتروجين العضوى الأرضى والنتروجين المثبت يزداد بأضافة النترات وهو ماسبق أن أوضحناه فى دراسة سابقة .

وبحساب معدل زيادة أمتصاص كل من النتروجين المثبت لكل مجم ن سمادى مضاف يتضح أنه كما يأتى :

من ن مثبت ، ص = ١,٢٥ × مقدار السماد المضاف (حـــ)

من ن عضوى ، ص = ٠,٨٨ × مقدار السماد المضاف (حـــ)

وبذا تصبح المعادلة التى تعبر عن أمتصاص بادرات الشعير للنتروجين من النتروجين العضوى الأرضى ، والنتروجين من الأمونيوم المثبت ، والنتروجين السمادى وأثر النتروجين السمادى على أمتصاص النتروجين من المصدرين الأولين كما يأتى :

ص = ٠,٠٦٥ أ + ٠,٢٧ ب + ٠,٨٨ حـــ / أ + ١,٢ حـــ / ب

ثانيا – تقـــدير أثر كربونات الكالســـيوم وكبريتات البوتاسيوم على كفاءة الأمونيوم :

(أ) أثر كربونات الكالسيوم :

أستخدمت ٢٥ جم أرض طينية تحتوى ٣,٤ % كربونات الكالسيوم وخلطت مع ٧٥ أو ٦٢,٥ أو ٥٠ جم رمل مغسول وكمل وزن المخلوط الى ١٠٠ جم باضافات من كربونات الكالسيوم وأضيف النتروجين فى صورة نترات كالسيوم أو كبريتات أمونيوم بمعدلات صفر أو ٢,٥ أو ٥ أو ٧,٥ مجم ن لكل وعاء ونفذت الدراسة طبقا لطريقة نيوباور .

(ب) أثر كبريتات البوتاسيوم :

أستخدمت نفس الطريقة بأستخدام مخالط من الأرض ٢٥ جم والرمل ٧٥ وأضيف النتروجين بنفس المعدلات وكبريتات البوتاسيوم بمعدلات صفر و٢ و ٤ و٦ مجم بو .

أثر كربونات الكالسيوم :

يتضح من الأرقام الواردة بالجدول رقم (٩) أنه بزيادة كربونات الكالسيوم فى المخلوط نقص مقدار النتروجين الممتص بواسطة النباتات التى أضيف اليها كبريتات أمونيوم بمقارنتها بتلك التى أضيف اليها نترات الكالسيوم كما يلاحظ أن مقدار النتروجين الذى أمتص من الأرض بدون أضافة سماد ولكن مع وجود زيادات من كربونات الكالسيوم لم ينخفض نتيجة لوجود هذه الزيادات .

بتوقيع مقدار النتروجين الكلى الممتص بواسطة النباتات ومقدار النتروجين المضاف فى صورة كبريتات الأمونيوم فى وجود صفر و ١٢,٥ و ٢٥,٠ جم كربونات كالسيوم بالمخلوط الأرضى كل على حدة ينتج لدينا ٣ خطوط مستقيمة ، يمثل الجزء المقطوع من المحور الصادى فيها مقدار النتروجين الممتص من الأرض عند عدم اضافة السماد، ويمثل ميل المستقيم فى كل حالة معدل أمتصاص النتروجين الكلى نتيجة لأضـــافة الســـماد . حســـبت المعادلات المعبرة عن هذه المستقيمات بطريقة المربعات الصغرى فكانت كما يأتى :

ص = ٦,٧٣ + ١,٠٨ س (٤ - أ)

ص ١٢,٥ = ٦,٥٥ + ٠,٧٧ س (٤ - ب)

ص ٢٥ = ٦,٦٦ + ٠,٦١ س (٤ - حـ)

حيث ص هى المقدار الكلى للنتروجين الممتص عند وجود صفر أو ٢٧,٥ أو ٢٥ جم كربونات كالسيوم بالمخلوط الأرضى و(س) مقدار النتروجين المضاف فى صورة كبريتات أمونيوم .

أما فى حالة أضافة نترات الكالسيوم فان المعادلة (٤ -

ص = ٦,٧٣ + ١,٠٨ س

تمثل أثر أضافات النتروجين فى صورة نترات الكالسيوم (س) على مقدار النتروجين الممتص فى وجود النسب المختلفة من كربونات الكالسيوم بالأرض .

جدول (٩) : أثر كربونات الكالسيوم بالأرض على مقدار النتروجين الممتص بواسطة بادرات الشعير من كبريتات الأمونيوم ونترات الكالسيوم

كا ك أ٣ مضافة الى المخلوط										
			صفر			١٢,٥			٢٥	
مجم ن مضاف للوعاء	ن كلى	ن أرضى	ن كلى	ن سمادى	ن مفقود	ن مفقود	ن كلى	ن سمادى	ن أرضى	ن مفقود
			مجم/وعاء		مجم /وعاء		%	جم / وعاء		%
كبريتات أمونيوم										
الصفر	٦,٧	٦,٧	٦,٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٦,٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٢,٥	٩,٤	٦,٩	٨,١	١,٢	١,٣	٥٢,٠	٨,٠	١,١	١,٤	٥٦,٠
٥,٠	١٢,١	٧,١	١٠,٢	٣,١	١,٩	٣٨,٠	٩,٣	٢,٢	٢,٨	٥٦,٠
٧,٥	١٤,٩	٧,٤	١٢,٧	٥,٣	٢,٣	٢٩,٣	١١,٤	٤,٠	٣,٥	٦٦,٦
نترات الكالسيوم										
الصفر	٦,٧	٦,٧	٦,٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٦,٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٢,٥	٩,٥	٧,٥	٩,٥	٢,٥	٠,٠	٠,٠	٩,٣	٢,٣	٠,٢	٨,٠
٥,٠	١,٢١	٧,١	١٢,٤	٥,٣	٠,٢+	٦,٠+	٣,٣	٥,٢	٠,٢+	٤,٠+
٧,٥	١٤,٨	٧,٤	١٤,٩	٧,٥	٠,٠	٠,٠	١٥,٠	٧,٦	٠,١+	١,٣+

ملاحظات : ٣٥,٦ مجم ن/ وعاء فى نباتات الشعير النامية فى رمل مغسول طرحت من النتروجين الكلى ، الأرقام متوسط وعائين تحتوى ٢٥ جم من الأرض المستعملة فى المخلوط ٠,٧ جم كا ك أ٣ . لكل معاملة .

ومقــارنة ميول المستقيمات هى التعبير الكمى عن التغير فى كفاءة كبريتات الأمونيوم منسوبة الى كفاءتها فى حالة عدم وجود كربونات كالسيوم أو الى كفاءة نترات الكالسيوم ، فمثلا تكون كفاءة كبريتات الأمونيوم فى وجود ١٢,٥ كربونات كالسيوم منسوبة الى كفاءتها فى حالة عدم وجود كربونات كالسيوم أو الى كفاءة نترات الكالسيوم مساوية للنسبة ٠,٧٧ : ١,٠٨ = ٧١% .

وكفاءتها فى وجود ٢٥ جم كربونات كالسيوم منسوبة الى كفاءتها فى وجود صفر كربونات كالسيوم أو الى كفاءة نترات الكالسيوم مساوية للنسبة ٠,٦١ : ١,٠٨ = ٥٦% أى أن كفاءة كبريتات الأمونيوم فى وجود ١٢,٥ و ٢٥ جم كربونات كالسيوم تعادل ٧١ % و ٥٦ % على التوالى من كفاءتها فى حالة عدم وجود كربونات كالسيوم أو من كفاءة نترات الكالسيوم .

الكفاءة المشار اليها هى الكفاءة الكلية للسماد التى تمثل أثره على أمتصاصا النتروجين الكلى بالنبات من مصـــدريه الأرضى ، والسمادى ولحساب الكفاءة النسبية لأمتصاص النتروجين السمادى وحدة يقتضى أن نقدر النتروجين الممتص من المصدر السمادى . وطريقه نيوباور المتبعة فى هذه الدراسة تسمح بذلك بدون خطأ كبير . فأستخدام عدد كبر من البادرات (١٠٠ بادرة) ، ومقدار محدود من الأرض يسمح بأعتبار أن النباتات تمتص كل مقدار النتروجين المضاف فى صورة أمونيوم أو نترات فى حالة عدم وجود كربونات كالسيوم ، وبالتالى فان طرح مقدار النتروجين المضاف فى هذه الحالة من جملة النتروجن الممتص يعطى مقدار النتروجين الذى أمتصه النبات من الأرض .

وبأفتراض أن مقدار النتروجين الذى تمتصه النباتات من الأرض فى حالة عدم وجود كربونات كالسيوم فى النظام الأرضى يظل ثابتا عند أضافة كربونات كالسيوم ، وهو ما أشرنا الى حدوثه فعلا ، أى أن أى نقص فى النتروجين عند وجود كربونات الكالسيوم وأمونيوم مضاف عنه فى حالة وجود كربونات كالسيوم ونترات يعتبر نقصا فى المقدار الممتص من الأمونيوم المضاف . وتوقيع المقدار الممتص من السماد فقط بعد طرح مساهمة الأرض عند كل أضافة ينتج لنا ٣ خطوط جديدة تعبر المعادلات الآتية عنها .

ص	= ١,٠٠ س	(٤ – د)
ص١٢,٥	= ٠,٦٠ س	(٤ – هـ)
ص ٢٥	= ٤٧ ر س	(٤ – و)

حيث (ص) مقدار النتروجن الممتص من السماد و (س) هى مقدار النتروجين المضاف فى صورة كبريتات أمونيوم ، كما أن المعادلة (٤ – د) تعبر أيضا عن تأثير نترات الكالسيوم فى جميع مستويات كربونات الكالسيوم ، والميل هنا يعبر عن معدل أمتصاص النتروجين السمادى وحده وبأستخدام النسبة بن الميول لتقدير الكفاءة النسبية لكبريتات الأمكونيوم فى وجود ١٢,٥ جم أو ٢٥ جم كربونات كالسيوم منسوبة الى كفاءتها فى حالة عدم وجود كربونات الكالسيوم بالأرض أو الى نترات الكالسيوم يتضح أنها ٦٠% و ٤٧% على الترتيب . أى أن وجود كربونات الكالسيوم بالأرض قد أدى الى أنخفاض كفاءة كبريتات الأمونيوم الى درجة كبيرة .

ثالثـــا – أثر أضافات البوتاسيوم على أمتصاص النتروجين :

بأستخدام نفس طريقة الأستنتاج السابقة يوقع مقدار النتروجين الكلى الممتص وأضافات النتروجين فى رسم بيانى ينتج لنا ، مستقيمات يمثل كل منها العلاقة بين النتروجين الكلى الممتص والنتروجين المضـــاف عند مســتوى معين من البوتاسيوم المضـــاف ، ويلاحظ أنه كلما زاد البوتاسيوم المضـــاف نقص ميل المستقيم ، ومقارنة هذه الميول كما أتبع سابقا يعطى الكفاءة النسبية لأضافات النتروجن فى حالة وجود مقادير مختلفة من البوتاسيوم منسوبة الى كفاءتها فى حالة عدم وجوده ، والمعادلات المعبرة عن أمتصاص النتروجين الكلى عند كل مستوى من البوتاسيوم هى :

ص صفر	= ٦,٧ + ١,١٠٥ س	(٥ أ)
ص٢	= ٦,٦ + ١,١٠٤ س	(٥ ب)

ص٤	= ٦,٥ + ٠,٧٥٦ س	(٥ حـ)
ص٦	= ٦,٧ + ٠,٤٦٢ س	(٥ د)

حيث (ص) مقدار النتروجين الكلى الممتص فى وجود ، صفر٢ و ٤ و٦ جم من كبريتات البوتاسيوم و(س) مقدار النتروجين المضاف فى صورة كبريتات أمونيوم.

وتمثل المعادلة ص = ٦,٧ + ١,١٠٥ س أثر أضافات نترات الكالسيوم (س) على مقدار النتروجين الممتص فى وجـــود أضافات مختلفة من كبريتات البوتاسيوم.

ومقارنة الميول توضح أن الكفاءة الكلية للنتروجين المضاف فى صورة كبريتات أمونيوم مع أضافة ٢ مجم بو/وعاء تعادل تقريبا كفاءته عند عــدم إضافة بوأ وكفاءة نترات الكالسيوم .

وأن الكفاءة الكلية للنتروجين المضاف عند أضافة ٤ مجم بو تعادل ٠,٧٥٦ : ١,١٠٥ = ٠,٦٩ كفاءته عند عدم أضافة بو أو لكفاءة نترات الكالسيوم .

وأن الكفاءة الكلية للنتروجين المضاف عند أضافة ٦ مجم بو تعادل ٠,٤٦٢ : ١,١٠٥ = ٠,٤٣ مرة قدر كفاءته عند عدم أضافته أو لكفاءة نترات الكالسيوم .

وبطرح مقدار النتروجين الممتص من الأرض عند كل مستوى من مستويات أضافة النتروجين بأستعمال نتائج أضافة الأمونيوم عند عدم أضافة بوتاسيوم ينتج لدينا مقدار النتروجين الممتص بواسطة النباتات من سماد كبريتات الأمونيوم المضاف وحده والخطوط المستقيمة تعبر عنها المعادلات الآتية :

ص صفر	= ١,٠ س	(٥ هـ)
ص٢	=١,٠٠١ س	(٥ و)
ص٤	=٠,٥٦٢ س	(٥ ر)
ص٦	=٠,٣٢٦ س	(٥ ح)

حيث (ص) هى مقدار النتروجين الممتص من السماد (س) فقط . كما أن المعادلة (٥ هـ) تعبر أيضا عن تأثير نترات الكالسيوم مع أضافات مختلفة من البوتاسيوم .

ومن مقـارنة الميول يتضح أن أضافة ٢ جم بو للوعاء لم يغير من كفـاءة نتروجين الأمونيوم المضاف ، بينما أضافة ٤ بو لكل وعاء أنخفضت الكفاءة الى ٠,٥٦ منسوبة الى كفاءته فى حالة عدم الأضافة أو كفاءة نترات الكالسوم وكذا أنخفضت كفاءة الأمونيوم فى حالة أضافة ٦ مجم بو الى ٠,٣٢٦ منسوبة الى كفاءته فى حالة عدم أضافة بو أو الى كفاءة نترات الكالسيوم .

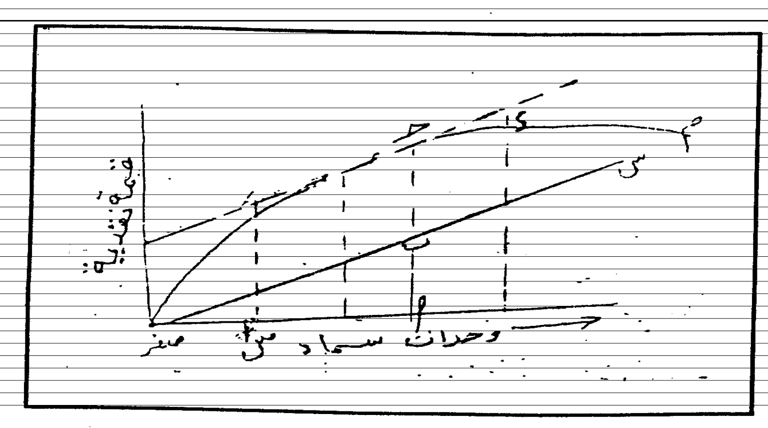
من النتائج السابقة يتضح أن كفاءة كبريتات الأمونيوم كسماد تتأثر تأثرا واضحا عند أحتواء الأرض على نسبة عالية من كربونات الكالسيوم أو عند التسميد بأسمدة بوتاسية .

والعامل الأول واضح الأهمة ، لأن كربونات الكالسيوم مكون هام فى أكثر الأراضى بمصر والبلاد العربية خصوصا المساحات المستصلحة شمال غرب الدلتا والتى تحتوى من ٤٠ -٧٠ بالمائه من كربونات الكالسيوم . ونوجه النظر الى أن كبريتات الأمونيوم قد أضيفت على سطح مخلوط الأرض فى هذه التجربة ومن رأى Steenbjerg أن تغطية كبريتات الأمونيوم يقلل ما يتطاير الى حد كبير.

والعامل الثانى أقل أهمية لأن أغلب الأراضى العربية غنية بالبوتاسيوم ما عدا الرملى منها ،وأوضح البحث أن أضافة ٢ مجم بو لم يؤثر كثيرا فاذا أعتبرنا المخلوط كله الأرض + الرمل ممثلا لبيئة النمو فان الأضافة تكون ٢٠ مجم / كجم أما اذا أعتبرنا أن الرمل هنا مادة مالئة غير فعالة فان معدل الأضافة تكون ٢ مجم / ٢٥ جم أرض أى ما يعادل ٨٠ مجم / ١ كجم أرض وهذه تعتبر أضافة عالية جدا ، ولم يحدث عندها نقص فى أمتصاص الأمونيوم وبالتالى نستطيع أن نتوقع الأثر الضار للبوتاسيوم عنداضافات شديدة الأرتفاع أما الأضافات التى تعطى عادة فى التسميد بالحقل فلا يتوقع منها ضرر .

إضافة السماد للحصول على أعلى ربح :

تهدف تجارب معدلات التسميد الى معرفة مقدار السماد الذى يضاف ليحقق أما أعلى محصول أو أعلى ربح أو أعلى نسبة لستغلال لرأس المال أى النسبة بين القيمة النقدية لزيادة المحصول وتكاليف السماد ويوضح الشكل رقم (٤) هذه العلاقات .



شكل (٤) : تحديد الإضافة الإقتصادية من السماد بيانيـا

توقع معدلات السماد على المحور السينى وقيمة العائد النقدى على المحور الصادى ويمثل المنحنى (م) القيمة النقدية للزيادة الناتجة فى المحصول عند كل أضافة سمادية ، ويمثل الخط المستقيم (س) القيمة النقدية للسماد المضاف .

عند معدل أضافة (أ) وحدة سمادية تكون المسافة بين المنحنى (م) والخط المستقم (س) أكبر ما يمكن ، وعند هذه النقطة (أ) يتحقق أعلى ربح ، ونقطة (جـ) على المنحنى هى النقطة التى يكون فيها المماس للمنحنى موازيا لخط السماد (س) والمسافة (أ ب) هى القيمة النقدية للسماد المضاف والمسافة (أ جـ) هى العائد الكلى والمسافة (ب جـ) هى الربح الكلى ونسبة أ جـ : أ ب هى نسبة

قيمة الزيادة فى المحصول – العائد الكلى – الى تكاليف التسميد ، وعلى الجانب الأيمن نجد نقطة (د) حيث يكون المماس لمنحنى الزيادة موازيا للمحور السينى وهى النقطة التى يتحقق عندها المحصول الأعلى . بينما تكون قيمة السماد مرتفعة ويكون الربح الكلى أقل منه عند نقطة (جـ) ونسبة القيمة : التكاليف أقل.

وعلى الجانب الأسر من نقطة (جـ) تتناقص قيمة السماد بسرعة أكبر من تناقص الربح الكلى أى أن القيمة : التكاليف هنا تكون أعلى من نقطة (جـ) ويكون الربح الكلى أقل منه عند نقطة (جـ) .

وتقدم للزارع القادرعلى دفع ثمن المعدلات العالية من الأسمدة التوصية التي تعطى أعلى ربح (الأضافة عند النقطة » أ«) أما الزارع الذى لايستطيع ذلك لقلة رأس المال أو لأتساع المساحة بحث لاستطيع أستخدام هذه المعدلات العالية فى المساحة كلها ، يكون من الضرورى خفض المعدل الذى يعطى أعلى ربح فتنخفض تكاليف التسميد أسرع من أنخفاض قيمة الزيادة فى المحصول ، وبالتالى تتحقق زيادة فى نسبة العائد لرأس المستغل ، وكذا الحال فى الحاصلات ذات السعر المنخفض أو أى ظرف يحدد أستخدام السماد .

تتدخل عدة عوامل لحساب المقدار الواجب أضافته للحصول على أعلى ربح وأهم هذه العوامل هى :

١. أستجابة النبات للأضافات المتتالية .
٢. الأثر المتبقى من هذا السماد فى الأرض .
٣. ثمن السماد .
٤. السعر المتوقع للحصول .
٥. تكاليف الحصاد والتسويق الأضافية الناتجة عن الزيادة .

وتوجد عدة طرق لحساب المقدار الأقتصادى من السماد الذى يعطى أعلى ربح :

الطريقة الحسابية :

إذا صرفنا النظر عن التكاليف الأضافية للحصاد والتسويق ، أو أضفناها بعد أتمام حساب مقدار السماد ، وكذا صرفنا النظر عن الأثر المتبقى من السماد فى الأرض لصعوبة تقدره كميا وتقدير أثره على المحصول التالى فان هذه الطرقة تدخل فى الأعتبار أستجابة النبات للأضافات السمادية وهذه تعرف من التجارب الحقلية وثمن السماد والسعر المتوقع للمحصول .

مثـــال :

توفرت البيانات الآتية من تجربة تسميد الذرة بالنتروجين وكان سعر أردب الذرة ٢٠٠ قرش وسعر وحدة النتروجين ٢٠ كجم = ٢٤٠ قرش أى ١ كجم = ١٢ قرش والمطلوب معرفة الأضافة من السماد التى تعطى أعلى ربح .

وحدة النتروجين المستعملة مقسومة على الزيادة الناتجة عنها تعطى عدد كيلو جرامات النتروجين اللازمة لأنتاج أردب واحد من كل أضافة على حدة .

يتضح أنه يلزم لأنتاج أردب واحد :

٤ كجم نتروجين فى الأضافة الأولى ثمنها ٤٨ قرش

٥ كجم نتروجين فى الأضافة الثانية ثمنها ٦٠ قرش

٩,١ كجم نتروجين فى الأضافة الثالثة ثمنها ١٠٩ قرش

٢٠ كجم نتروجين فى الأضافة الرابعة ثمنها ٢٤٠ قرش

ولما كان سعر الذرة كما فرضنا فى المثال ٢٠٠ قرش للأردب فتكون الأضافة الثالثة هى أعلى أضافة أقتصادية لأن الأردب الناتج عن الأضافة الرابعة يحتاج الى سماد قيمته ٢٤٠ أى أعلى من قيمة أردب الذرة الناتج (جدول ١٠) .

جدول (١٠) : حساب الأضافة التى تعطى أعلى ربح

ن مضاف كجم/ف	الزيادة فى كل وحدة كجم/ف	المحصول الناتج أردب/ف	الزيادة عن كل وحدة أردب /ف	قيمة النتروجين الضرورى لأنتاج أردب ذرة واحد بالقرش
صفر	–	٨	صفر	
٢٠	٢٠	١٣,٠	٥	$\frac{20}{5}$ × ١٢ = ٤٨
٤٠	٢٠	١٧,٠	٤	$\frac{20}{4}$ × ١٢ = ٦٠
٦٠	٢٠	١٩,٢	٢,٢	$\frac{20}{22}$ × ١٢ = ١٠٩,٢
٨٠	٢٠	٢٠,٢٠	١,٠	$\frac{20}{1}$ × ١٢ = ٢٤٠,٠

طريقة أستخدام الدوال الرياضية :

يمكن النصح بأضافة السماد فى صورة وحدات متوالية منه متى كانت القيمة النقدية للوحدة السمادية المضافة أقل من القيمة النقدية للمحصول الناتج عنها ، حتى اذا ساوت قيمة الوحدة السمادية المضافة قيمة الزيادة فى المحصول الناتجة عنها فأن هذه الوحدة تعتبر الحد الأعلى للأضافة الأقتصادية .

فإذا رمزنا للزيادة فى المحصول الناتجة عن الوحدة السمادية المضافة بالرمز (Δ ص) والى الوحدة السمادية المضافة بالرمز (Δ س) فإن أوفق أضافة من الناحية الأقتصادية هى عندما تكون :

$$\frac{\Delta \text{ص}}{\Delta \text{س}} = \frac{\text{سعر وحدة السماد}}{\text{سعر وحدة المحصول}}$$

ومن الواضح أنه فى هذه الحالة تكون Δ ص × سعر المحصول = Δ س × سعر السماد . أما إذا كانت Δ ص × سعر المحصول أقل من Δ س × سعر السماد فمعنى ذلك أن الوحدة السمادية المضافة لم تزد المحصول بما يساوى قيمتها النقدية على الأقل . ى أن الزارع فى هذه الحالة قد خسر الفرق بين قيمة السماد وقيمة الزيادة الناتجة فى المحصول. أما إذا كانت Δ ص × سعر المحصول أعلى من Δ س × سعر السماد فإن الزارع يستطيع أن يضيف مزيدا من السماد .

وعندما تكون Δ ص و Δ س مقادير صغيرة يعبر عنهما بالرمزين (د ص) و (د س) وواضح أن $\frac{\text{د ص}}{\text{د س}}$ هو تفاضل (ص) بالنسبة الى (س) فلحساب أوفق أضافة أقتصادية من السماد تحسب المعادلة التى تعبر عن أستجابة النبات الى السماد المستخدم، ثم يؤخذ تفاضل (ص) فيها بالنسبة الى (س) ويسوى التفاضل بالنسبة $\frac{\text{سعر وحدة السماد}}{\text{سعر وحدة المحصول}}$ وتكون قيمة (س) التى تحقق هذه المتساوية هى المقدار الذى يضاف ليحقق أكبر ربح .

فإذا كانت معادلة متشرلش هى المعادلة التى تعبر عن أستجابة المحصول للسماد مثلا فيمكن أستنتاج الآتى :

من المعادلة $\text{ص} = \text{أ} \left(١ - ١٠^{-\text{م س} - \text{م ب}} \right)$

يأخذ تفاضل (ص) بالنسبة الى (س) ومساواته بنسبة سعر السماد الى سعر المحصول ينتج :

$$\frac{\text{د ص}}{\text{د س}} = -\text{أ} \times ١٠^{-\text{م ب}} \times ١٠^{-\text{م س}} \text{ لو هـ } ١٠ \left(-\text{م} \right)$$

$$= \frac{\text{سعر وحدة السماد}}{\text{سعر وحدة المحصول}}$$

أما فى حالة ما تكون معادلة الدرجة الثانية هى التى تعبر عن أستجابة المحصول للتسميد أى ص = أ + ب س × حـــ س٢

فيكون تفاضل (ص) بالنسبة الى (س) ومساواة التفاضل بنسبة سعر السماد الى سعر المحصول كالآتى :

د ص / د س = ب + ٢ حـــ س = سعر وحدة السماد / سعر وحدة المحصول

وبالتعويض عن حدود معادلة متشرلش أو معادلة الدرجة الثانية بقيمها حسب النتائج يمكن حساب قيمة (س) وهى التى تعطى أعلى ربح .

مثـــــال :

(أ) فى تجربة تسميد القطن بنترات الكالسيوم حصلنا على نتائج والتى أمكن التعبيرعنها بمعادلة متشرلش كما يأتى :

ص = ٩,٢٧ [١ − ١٠ ^(−٠,٠٨٦٢ (٦,٢٧ + س))] وكان سعر قنطار القطن ١٥ جم وسعر ١٠٠ كجم نترات كالسيوم ٢,١ جم

∴ د ص / د س = ٩,٢٧ × ١٠ ^(− ٠,٠٦٨٢ × ٦,٢٧) × ١٠ ^(− ٠,٠٨٦٢ س) × ٢,٣ × ٠,٠٨٦٢ = ٢,١ / ١٥

وبأجراء العمليات الحسابية ينتج أن (س) تساوى ٦,٦٩ وحدة نتروجين أى ١٣٠,٦٩ كجم/ف وثمن هذا المقدار من السماد ١٤,٠٤٩ جنيها ، وحسب المحصول الذى ينتج من أستعمال هذا المقدار من معادلة الأستجابة ووجد أنه ٨,٥٥ قنطارا من القطن قيمتها بالأسعار المشار اليها سابقا ١٢٨,٢٥ .

(ب) فى حالة استعمال سمادى النتروجين والفوسفور معا :

بأعتبار أن المعادلة الأصلية التى تعبر عن تأثير النتروجين والفوسفور معا هى:

$$\text{ص} = \text{أ}\ (١ - ١٠^{-\text{م}_١ \text{ن}})\ (١ - ١٠^{-\text{م}_٢ \text{فو}})$$

بأعتبار أن (ن) هى مجموع (ب ن + س ن) و فو هى مجموع (ب فو + س فو) أى المقدار الموجود أصلا من كل من العنصرين والمضاف من كل منهما.

وكانت المعادلة التى تعبر عن أستجابة القطن للسمادين معا هى :

$$\text{ص} = ١٠{,}٢٣\ [\ ١ - ١٠^{-٠{,}٠٩٦٩\ (٤{,}٨٣ + \text{س ن})}\ ]$$
$$[\ ١ - ١٠^{-٠{,}٣٠١\ (٤{,}٠٤ + \text{س فو})}\ ]$$

$$\text{وتكون}\ \frac{\partial \text{ص}}{\partial \text{ن}} = \text{أ}\ (١ - ١٠^{-\text{م}_٢ \text{فو}})\ ١٠^{-\text{م}_١ \text{ن}}\ \text{لو هـ}^{١٠} \times \text{م}_١$$

$$،\ \frac{\partial \text{ص}}{\partial \text{فو}} = \text{أ}\ (١ - ١٠^{-\text{م}_١ \text{ن}})\ ١٠^{-\text{م}_٢ \text{فو}}\ \text{لو هـ}^{١٠} \times \text{م}_٢$$

وبالتعويض عن كل من هاتين المعادلتين التفاضلتين بما تساويه وأعتبار أن سعر القنطار ١٥ جنيه وسعر ١٠٠ كجم نترات جير ٢,١ جنيه و سعر ١٠٠ كجم سوبر فوسفات كالسيوم ١,١٢ جنيه ينتج أن :

$$\frac{\partial \text{ص}}{\partial \text{ن}} = ١٠{,}٢٣\ (١ - ١٠^{-٠{,}٣٠١ \text{فو}})\ ١٠^{-٠{,}٠٩٦٩ \text{ن}} \times ٢{,}٣٠٢٦ \times ٠{,}٩٦٩ = \frac{٢{,}١}{١٥}$$

$$\frac{\partial \text{ص}}{\partial \text{ن}} = ١٠{,}٢٣\ (١ - ١٠^{-٠{,}٠٩٦٩ \text{ن}})\ ١٠^{-٠{,}٣٠١ \text{فو}} \times ٢{,}٣٠٢٦ \times ٠{,}٣٠١ = \frac{١{,}١٢}{١٥}$$

ثم تحل المعادلتان معا وينتج لدينا قيمة كل من (ن) و (فو) الكليتين ، ويطرح منهما قيمة (ن) و (فو) بالأرض فيكون الناتج هو الأضافة المشتركة بين كل من السمادين التى تحقق أعلى ربح تحت ظروف التجربة وأجريت العمـــليات

الحسابية وأتضح أن ٨,٣ كجم نترات كالسيوم تحتوى ١٢٤,٨٥ كجم ن و ٢٥٣ كجم سوبر فوسفات كالسيوم تحتوى ٣٨,١ كجم فو هى أوفق اضافة والمحصول الناتج بأستعمال هذا السماد هو ٩,٦٥ قنطار قيمته النقديه ١٤٤,٨٥ جنيه والقيمة النقدية للسماد المستعمل ١٩,٦٩ جنيه منها ١٦,٨ جنيه للسماد النتروجينى و ٢,٨٣ للسماد الفوسفاتى .

أستخدام معـــادلة الدرجة الثانية لحساب الأضافة التى تحقق أعلى ربح :

١- تجربة تسميد القمح جيزة ١٤٤ بمزرعة كلية الزراعة بالأسكندرية :

حسبت ثوابت معادلة الدرجة الثانية التى تعبر عن أستجابة القمح فى هذه المنطقة ووجد أنها :

ص = ٦,٨٩ × ٢,٤ س − ٠,٤٥ س^{٢}

حيث (ص) بالأردب من القمح (١٥٠ كجم) للفدان (٤٢٠٠م^{٢}) و (س) وحدات من النتروجين تعادل ١٥ كجم ن/ فدان من أى نوع سمادى .

ومن حساب أعلى إضافة أقتصادية أتضح أنها ٠,٥ كجم نتروجين / فدان والمحصول الناتج فى هذه الحالة ٩,٧ إردب / فدان . وذلك بأعتبار سعر أردب القمح ٥ جنيهات سعر النتروجين ١٤ قرش / كجم ن .

٢- فى تجربة القمح صنف جيزة ١٤٤ بالقطاع الجنوبى لمديرية التحرير :

ص = ١,٢ + ١,٩٧ س − ٠,١٧ س^{٢}

حيث (ص) بالأردب من القمح للفدان و(س) وحدات تعادل ١٠ كجم ن/ فدان من أى نوع سمادى عدا اليوريا ، وأتضح أن أعلى إضافة اقتصادية هى ٤٩,٧ كجم ن تعطى محصولا ٢,٤ أردب / ف وذلك بأعتبار الأسعار كما سبق فى (أ).

٣- فى تجربة قمح بهتيم :

ص = ٧,٠٣ + ٣,٠٢ س − ٥,٦ س^{٢}

حيث (ص) بالأردب من القمح للفدان و(س) وحدات تعادل ١٠ كجم ن /فدان من أى نوع سمادى وأتضح أن أعلى إضافة إقتصادية هى ٢٢ كجم نتروجين /ف تعطى ١٠,٧٧ أردب / فدان وذلك بأعتبار الأسعار كما سبق فى (١) .

٤- فى تجربة المنيا :

ص = ٧,٣٢ + ٤,١٢ س - ٠,٥٩ س^{٢}

حيث (ص) بالأردب من القمح و س وحدات تعادل ١٠ كجم ن/فدان من أى نوع سمادى ، وأتضح أن أعلى إضافة اقتصادية هى ٣٢ كجم نتروجين والمحصول الناتج ١٤,٤٩ أردب / ف وذلك بأعتبار الأسعار كما سبق فى (١) .

٥- فى تجربة الذرة صنف أمريكانى بدرى بمزرعة كلية الزراعة بالأسكندرية :

ص = ١٧,٠١ + ٤,٥٦ س - ٠,٦٦ س^{٢}

حيث (ص) بالأردب من الذرة و (س) وحدات نتروجين تعادل ١٥ كجم ن/فدان من أى نوع سمادى وأتضح أن أعلى اضافة اقتصادية هى ٤٥,٩ كجم نتروجين وتعطى محصولا ٢٤,٧٩ أردب /فدان وذلك بأعتبار سعر إردب الذرة ٤٠٠ قرشا وسعر ١٥ كجم نتروجين = ٢,١٧ جنيه .

ويتضح من قـيم أعـلى إضافة إقـتصادية التى حصلنا عليها أنها تختلف بالنسبة للصنف الواحد من المحصول الواحد بأختلاف عدد من العوامل منها نوع الأرض والمنطقة المناخية والخدمة ، هذا طبعا مع تساوى الأسعار والتكاليف وإلا وجب إدخالها فى الحساب .

وهذا الأختلاف يشير الى أن إضافة من السماد قد تحقق أعلى ربح فى أرض ولكنها لا تناسب أرضا أخرى مما يستلزم من القائمين على شئون التسميد أن يقيموا عددا من التجارب لكل محصول بكل منطقة تختلف فى أرضها أو مناخـها

أو طريقة الخدمة الشائعة فيها ولكل صنف من أصناف المحصول ، ومن هذه التجارب يمكن حساب مقـدار السماد النتروجينى الذى يضاف للمحصول فيعطى أعلى ربح من اضافته بالنسبة لكل منطقة . ونرجو أن تتجه دراسات الأسمدة نحو هذا الميدان فلا تقف الدراسات عند توضيح الأستجابة أوعدم الأستجابة الى المقدار المضاف .

تقدير معـــدل التسميد الذى يعطى أعلى ربح

(الطريقة المتبعة فى منظمة الغذاء والزراعة)

يوجد طريقتـــان لحساب معدل التسميد الذى يعطى أعلى ربح ، الطريقة المبســـطة بأستخدام الأستجـــابات الأســـاسية والطريقة الأكثر دقـــة وهو إستخدام العلاقات الرياضية التى تعبرعن استجابة المحصول للسماد المضاف .

REFERENCES

Barber, S.A. (1969). A diffusion and mass flow concepts of soil, Soil Sci. 93 : 49.

Barber, S.A.; J.M. Walker and E.H. Vaseg (1976). Mechanismis for the movement of plant matrients from the soil and fertilizer to plant root Agric. And Food the. Vol.11: 204-207.

Bartlet, A.T. (1964). Measurment of cation and anion exchange capacities of roots using Nacl exchange. Soil Sci. 98: 351-357.

Blaney, H.F. and Criddle. W.D. (1950). Determining water requirements in irrigated data from climatoiogical and irrigation data. LISDA S.C.S.T.P. 96, 488.

Bortholic, J.F.; Namkiem and L.N. Weeg (1970). Combination equations used to calculate evaporation and potential evaporation ARS. USDA 41–170 C.F. Agron. J. 1974. 66: 490 – 499.

Brown, D.S. and R.J. miller (1971). Bentonite instability and its influence on activation energy measurement Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 705 – 710.

Broyer, T.G. (1965). Some aspects of inorganic plant mutrition including studies on selenium. Ankara symp. For Isotopes and Radiation. 181-205.

Chapman, H.D.; GF. Lielrg and A.P. Vanseliw (1964). Some mutrtional relationlips revealed by a study of mineral deffecieney and expressed symptoms. Soil Sci: Soc. Anaer. Proc. 1939: 196-200.

Deifallah M. Dawod. (1968). Diffusion on of sodium in clays and soil systems using rahoactive ^{22}N. MSc. Thesis, schmitted to the University of Alexandria.

El Gabaly M.M. and 1. Wikl Ander (1962). The mechanizm of ion uptake by plant roots jour soil Am. Soc. 52: 463-464.

El Gawhary, S.M.; W.L. Lindiay and U.D. Kemper (1970). Effect of DTA on the self – diffusion of Zinc in aqueous solution and in Soil. Sci. Soc. Am. Profc. 34: 66 – 70.

El Gawhary, S.M.; W. Limdswy and U.D. Kemper (1970). Effect of complexing agent and acids and acide on the diffusion of zinc % to a simulated root. Soil Soc. Am. Proc. 34: 211–214.

Evans, S.D. and S.A. Barber (1964). The effect of rubidium-86 diffusion on the uptake of rulidium 86 by corn. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 56 – 57.

Fried, M.M. and R.E. Shapiro Annual Review of plant physic. 12:19.

Graham, J. Bryc (1965). Diffusion of cations in soils. Plant Naturient Supply and movement. Int. Atomic Energy Agency, EAE Vienne Tech. Reports Series No. 48.

Hargreaves, G.H. (1968). Consumptive use derived from evaporation pan data Am. Soc. Civ. En. J. irri. Drainage Div. Pap. 5863 NR : 97 – 105.

Hayward, H.E. and Berns tein L. (1980). Plant growth relationships on salt – affected soils. Bot. Rev. 24 : 564 – 584.

Hayward, H.E. and Spurr. W.B. (1944). Effect of osmoti concentration of inorganic and organic stomata's on entry of water into corn roots Bot Gaz. 106 : 131 – 139.

Hasted, J.B.; Risten, D.M. and C.H. Calli (1948). J. Chem. Phys. 16: 1 Cited by Robinson R.A. and Stekes, R.H. 1959 : 20.

Hodgren, J.M. (1969). Contribution of metal – organic compleexing agents to transport of metals to roots. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 68 – 75.

Hoffman, W.F. and Barber S.A. (1971). Phosphorus an uptake by wheat as influenct by ion accumul ahion in the rhize cylender Soil Sci. 112 : 256 – 269.

Israelsen, O.W. and Hansen V.E. (1962). Irrigation principles and practices. rd. Ed. Pp. 231 – 264. Jom. Wilengason baz. N.Y. and London.

Jacabson, L.; Moore and D.D. Hanipal (1960). The role of calcium in the absorption of monovalent cations. Plant physiology 35: 312.

Jenny, H. (1957). Contact exchange phenomenon between a adsorbents and their significance in plant muitretion in Mineral nuitrition of plants by E. Trougd.

Jort, W.D. (1961). Movement of water as affected by free energy and pressure grodients. I – Application of classic equations for viscous and deffuasive movements to the liquid phase in finely porous media. S. S. Soc Am. Proc. 25 : 255 – 256.

Katellapper, H. (1963). Stomatal physi ology. Ann. Rev. Plant. Phys. 14 : 249 – 267.

Kelland, J. (1937). Amer. Chem. Soc. 59: 1675. C.F. Physical Chemistry by Duffy, C. H. 1962 pp. 370.

Kemper, W.D. and J.C. Schauk (1960). Diffusion of ions in bentonite and vermiculite. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 353 – 357.

Khabil, M.A.; F. Amer and M.M. Elgabaly (1967). A slinity fertility interaction study on corn and cotton. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 683 – 686.

Khasauneh F.E. (1971). Soil solution activity and plant growth. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 425 – 436.

Kramer, F.J. (1959). Transpiration and the water economy of plants plant plant physiol. by steward, F.C. 1959 Ch. 27: 627.

Lai, T.M. and M.M. Mortland (1961). Diffusion of ions in bentonite and vermiculite. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 353 – 357.

Lunin, J.; Gallation M.H. and Batchelder A.R. (1961). The effect of stage of growth at time of salinization on the growth and chemical composition of beans. I- Total salinization accombeshed in one ume of salimzation on the growth of beans errigation. Soil Sci. 91: 194 – 202.

Mahtab, S.K.; C.L. Gdfrey; A.R.S. Waboda and Thomas (1971). The effect of applied P clay content and water content. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 393 – 397.

Nielsen, D.R. and Biggar, J.W. (1961). Miscible displace cement in soils I– Experemental enformation. Soil. Sci. 91: 194 - 202. Proc. 25: 1 – 5.

Nye, P.H. (1966). The measurement and mechanism of ion diffusion in soil. I- The relation between self deffusion and bulk effusion. J. Soil Sci. 17: 16 – 23.

Olsen, S.R. and F.S. Watanabe (1963). Deffusion of phosphorus as related to soil texture and plant uptake. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27: 648 – 657.

Olsen, S.R. and W.C. Kemper on Jackpon phosphate deffusion to plant roots 196 – 104. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 222 – 227.

Rijtema, P.E.(1969). Derived metearloqical data. Transpiration Proc. Sym. Agric. Mothods Reading. 1966: 55 – 77.

Soliman, F.M. (1975). Dynamics of Salt movement and distribution in soil related to evaporation transpiration and plant growth Ph.D. Thesis submitted to Univ. of Alex. 1975.

Van Bavel, C.H.M. (1966). Potential evaporation. The combined on cincept and its experimental verification Water Resources Res. 2: 445 – 467. C.F. Agron. J. 1974, 66: 450 – 454.

Wadleigh, C.H.; Gauch, H.G. and Kolisch. Mineral composition of orchard grass grown on pachapa a loam salinized with varions salts. Soil Sci. 72 : 275 – 282.

Wadleigh, C.H.; Gauch, H.G. and Strong D.G. (1947). Rool pene hation and moesture extraction in soline soil by croth plants. Soil Sci. 63: 341 – 349.

كتب علمية وثقافية للأستاذ الدكتور عبد المنعم بلبع
Published Books by: Prof. Dr. A.M. Balba
باللغة العربية

١ــ فحص الأراضى Soils Examination ١٩٦٩ (٢٠٠ صفحة) ــ دار المعارف .

٢ــ خصوبة الأراضى والتسميد (الطبعة الرابعة ١٩٨٠)
Soil Fertility and Ferilization 4^{th} Edn.
(٥٨٠ صفحة ٥٦ جدول-رسوم توضيحية-مراجع) - دار المطبوعات الجديدة -الإسكندرية

٣ــ استصلاح وتحسين الأراضى - (الطبعة الخامسة ١٩٨١) ، دار المطبوعات الجديدة .
Land Reclamation and Improvement 4^{th} Edn.
(٦٦٤ صفحة ــ ٣٣ رسم توضيحى - مراجع)- دار المطبوعات الجديدة ــ الأسكندرية .

٤ــ الأرض والأنسان فى الوطن العربى - (دار المطبوعات الجديدة) .
Soils and Man In The Arab Countries

٥- أضواء على الزراعة العربية ــ (دار المطبوعات الجديدة) .
Light on Arab Agriculture

٦ــ المجــــر Hungary - ١٩٦٩ ، (دار المعارف) .

٧ــ الأتربة المتأثرة بالأملاح ١٩٧٩ ، (الناشر FAO ــ روما)
Salt - Affected Soils
(١٣٥ صفحة قطع كبير ــ جداول ــ ٢٣ رسم توضيحى ــ مراجع) .

٨ ــ مصطلحات علم الأراضى الأنجليزية ومرادفاتها العربية - ١٩٨٢
Arabic - English Expressions in Soil Science
(٢٠٠٠ مصطلح ــ ٨٠ صفحة - أ.د عبد المنعم بلبع) .

٩- أمس واليوم وغدا - ١٩٨٤ (آراء ومقترحات عن الجامعات المصرية)

Yesterday, Today and Tomorrow (Suggestions Concerning The Egyptian Universities).

١٠ـ البحث العلمى...صانع التقدم Scientific Research The Maker of Progress

١١ـ الماء مأزق...ومواجهات Water and its Role in Development

(دار المطبوعات الجديدة - منشأة المعارف) .

١٢ـ الأسمدة والتسميد - ١٩٩٨ ، منشأة المعارف Fertilizers and Fertilization

١٣ـ استزراع أراضى الصحارى والمناطق الجافة فى مصر والوطن العربى - ١٩٩٧

- منشأة المعارف . Arab Countries&Utilization of Desert Soils in Egypt

١٤ـ الأرض والماء والتنمية فى الوطن العربى - ١٩٩٩ ، منشأة المعارف.

Soils, Water and Development in Arab Countries

١٥ـ الأرض .. مورد طبيعى لخير البشر - ١٩٩٩ ، منشأة المعارف.

The land, a Natural Resource for The Benefit of the People

١٦ـ التعبير الكمى عن استجابة المحاصيل للتسميد

(الناشر : جمعية أ.د. عبد المنعم بلبع لبحوث الأراضى والمياه) .

١٧ـ تقويم وتثمين الأراضى الزراعية .. ، ١٩٩٩ ، منشأة المعارف .

١٨ـ عالم يحاصره التلوث - عام ٢٠٠٠ ، منشأة المعارف .

١٩- أحياء تحت سطح الأرض - عام ٢٠٠٠ ، الشنهابى للطباعة والنشر.

٢٠- فحص الأراضى الزراعية وأختبار خصوبتها وصلاحية الماء للرى - ٢٠٠١، الشنهابى.

٢١- تغذية النبات - عام ٢٠٠١ الشنهابى للطباعة والنشر.

٢٢- العناصر الثقيلة (الصغرى) فى الأرض والنبات والبيئة - عام ٢٠٠١ ، الشنهابى .

٢٣- **إنتصارات للعلم والتكنولوجيا ضد الفقر والمرض والجوع** - عام ٢٠٠٢ ، الشنهابى .

٢٤- **التسـميد العضـوى** - عام ٢٠٠٢ ، المكتبة المصرية للطباعة والنشر والتوزيع .

٢٥- **أفريقيا .. الأراضى والمياه والتنمية** - عام ٢٠٠٣ ، المكتبة المصرية للطباعة والنشر والتوزيع.

٢٦- **أحياء تغذى النبات وأخرى تقاوم الآفات** - عام ٢٠٠٣ ، المكتبة المصرية للطباعة والنشر والتوزيع .

٢٧- **الشرق الأوسط .. الأرض والماء والنشاط الإقتصادى** - عام ٢٠٠٤ ، مركز الشنهابى للطباعة والنشر والتوزيع .

٢٨- **معالم التصنيف الجديد لأراضى العالم (أسم لكل أرض)** - عام ٢٠٠٤ ، مكتبة بستان المعرفة للطباعة والنشر والتوزيع .

كتب علمية وثقافية للأستاذ الدكتور عبد المنعم بلبع
Published Books by: Prof. Dr. A.M. Balba
باللغة الأنجليزية



29- **Management of Problem Soils in Arid Ecosystems**. CRC, N.Y.

30- **Calcareous Soils.**

31- **Nitrogen Relations with Soils and Plants.**

32- **Fifty Years of Phsphorus Studies in Egypt.**

(Pub. by: Prof. Dr. A.M. Balba Sco. for Soil & Water Research.)